

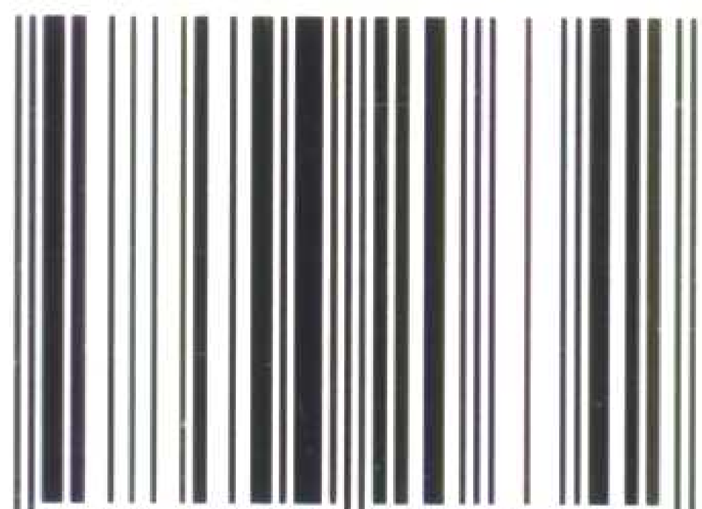
VOYAGE D'EXPLORATION

NEWTON. ET LA MÉCANIQUE CÉLESTE



从苹果坠地，
悟出行星运转的道理；
牛顿汲取了他那个时代
所有的科学知识，
整合一套完整的理论，
用来诠释一切可以观察的事物。
他的《自然哲学的数学原理》，
为近代科学奠定了基础。
这个拥有伟大心灵的人，
却有着隐士般的行径......

ISBN 7-5432-0634-X



9 787543 206342 >

定　价：　36.00元

牛顿

天体力学的新纪元



原著 = Jean-Pierre Maury

译者 = 林成勤

汉语大词典出版社

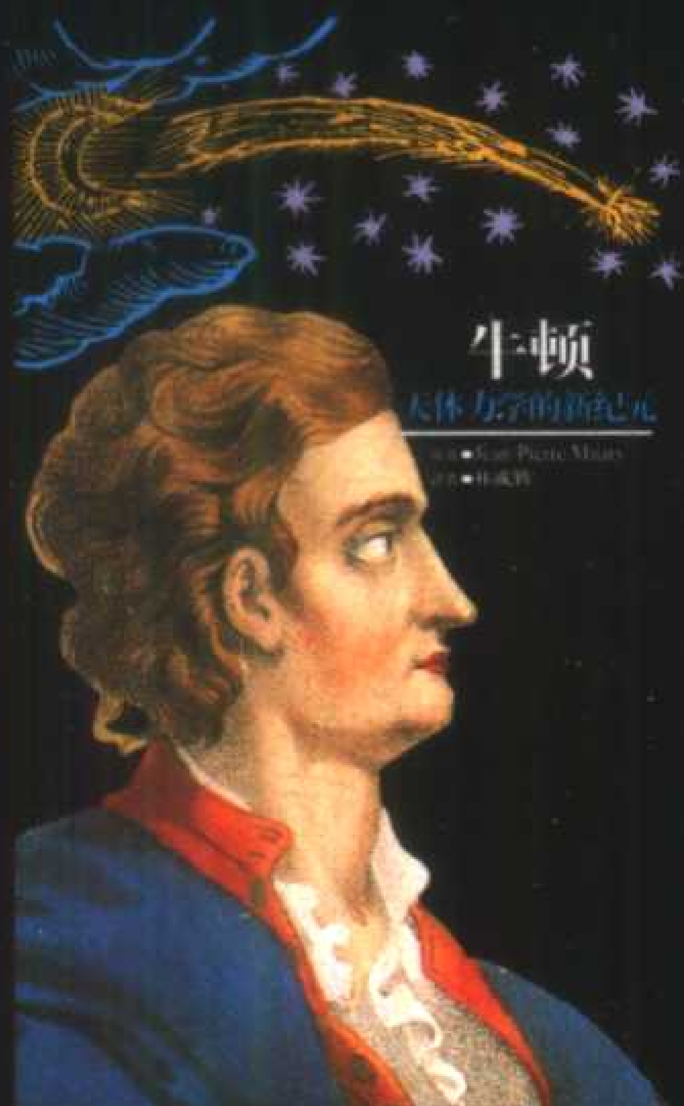
发现之旅 19

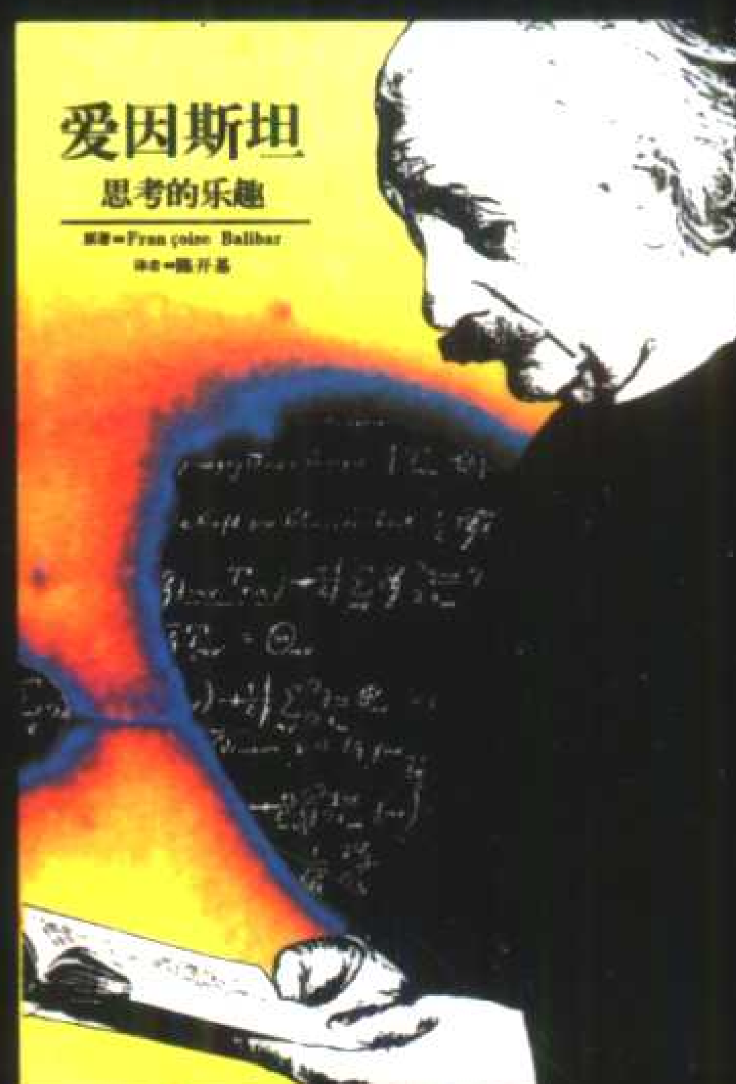
牛顿

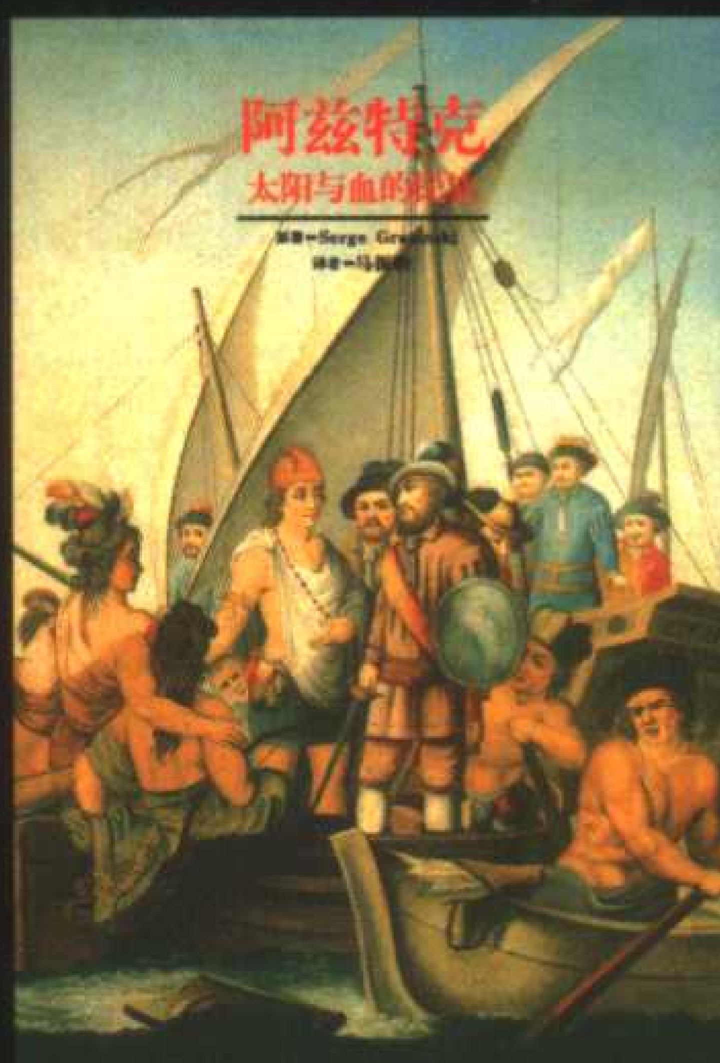
——天体力学的新纪元

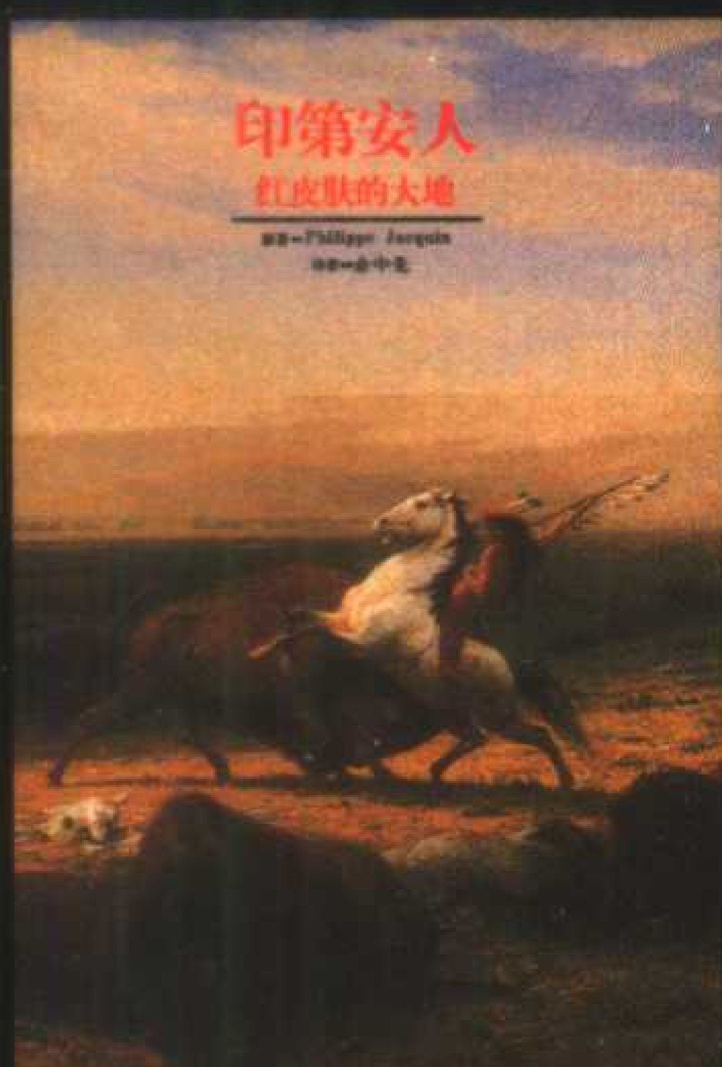
原著：Jean - Pierre Maury
译者：林成勤
出版者：汉语大词典出版社
（上海福建中路193号）
责任编辑：陈翔燕
技术编辑：吴德海　张　喆
印刷：深圳当纳利旭日印刷有限公司
版次：2001年8月初版
印次：2001年8月第一次印刷
印数：00001—10000
书号：ISBN 7 - 5432 - 0634 - X/G·298
定价：36.00元

聪明的人，懂得欣赏美景的人，
由望远镜朝夜空投以深情的凝视——
即使用低倍的望远镜亦无妨——
看见月牙儿尖尖俏俏的模样，
在物镜那端闪动，
能不大受感动吗？能不觉得仿佛
离开了常轨，摆脱了平凡的日常生活，
已然在天际间旅行？
稍有思想的人，
看见木星由四颗卫星环绕着，
看见土星带着环运行，看见两颗星
一绯红一艳蓝，在茫茫夜空中发亮，
能不觉得奇妙吗？
是的。如果所有的人：


牛顿
天体力学的新纪元


爱因斯坦
思考的乐趣
Fran çoise Balibar


阿兹特克


印第安人
红皮肤的大地
Philippe Jacquin


罗马人

图书在版编目（CIP）数据

牛顿:天体力学的新纪元/(法)莫里(Maury,Jean - Pierre)著;
林成勤译.—上海:汉语大词典出版社,2001.8
(发现之旅)
ISBN 7 - 5432 - 0634 - X

Ⅰ. 牛... Ⅱ. ①莫...②林... Ⅲ. ①万有引力定律-通俗读物
②牛顿,I.(1642～1727)-生平事迹-通俗读物 Ⅳ. 0314 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 051034 号

目录

Jean-Pierre Maury

1937年9月23日生。巴黎第七大学讲师。

撰写了多本物理学教材以及通俗科学读物。



田里弯腰辛劳的农夫，
城中俯首苦干的工人，
老师，有钱人，
有权有势的人，名利双收的人，
好吧，最放荡轻佻的女人，
如果所有的人都懂得，
凝视天空将会带来最深刻的喜悦，
那么法国，不，全欧洲，
就不会见到枪上的刺，
而处处是望远镜。
全宇宙的幸福和平，因此到来。

弗拉马里翁
（Camille Flammarion）
1880 年















目录

Jean-Pierre Maury

1937 年 9 月 23 日生。巴黎第七大学讲师。

撰写了多本物理学教材以及通俗科学读物。

牛顿

天体力学的新纪元



原著 = Jean-Pierre Maury

译者 = 林成勤

汉语大词典出版社



1665年6月，由于一场瘟疫席卷英国，
剑桥大学关了门，把教师和学生全都打发回家。
在这些人中，有一个刚刚毕业，23岁的年轻人：
伊萨克·牛顿(Isaac Newton)。
他将在家乡农村的宁静中度过一年：
绝妙的一年，充满新发现的一年，
历史学家称为「神奇年」(annus mirabilis)。

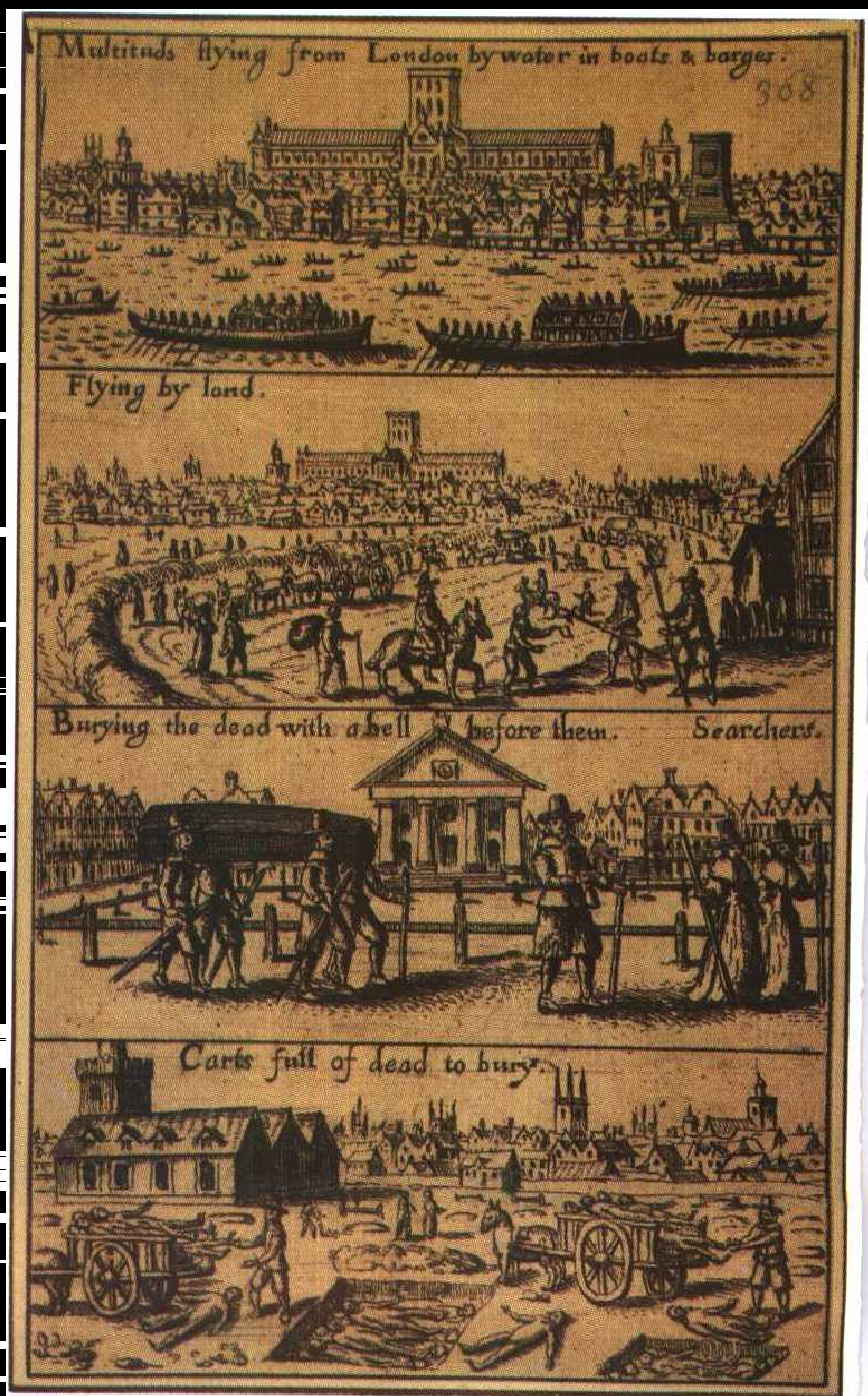
第一章

意外的假期

就在这幢林肯郡的农舍里，牛顿度过了一年——被迫赋闲的一年，恐怕也是科学史上最精采的一年。



[redacted]



[redacted]

玻璃三棱镜，会出现七种颜色。早在 1558 年，帕尔塔（Giambattista della Porta）在《论折射》一书中，就细细描述过这个实验。但是，帕尔塔解释颜色的观念，还是基于亚里斯多德的想法：光是白色的，颜色是随白光调变而逐渐产生的。

各种色光中，以红、黄光调变的程度最低；随之为绿、蓝、紫色，

Ioannis Keppleri

HARMONICES
MVNDI
LIBRI V. QVORVM

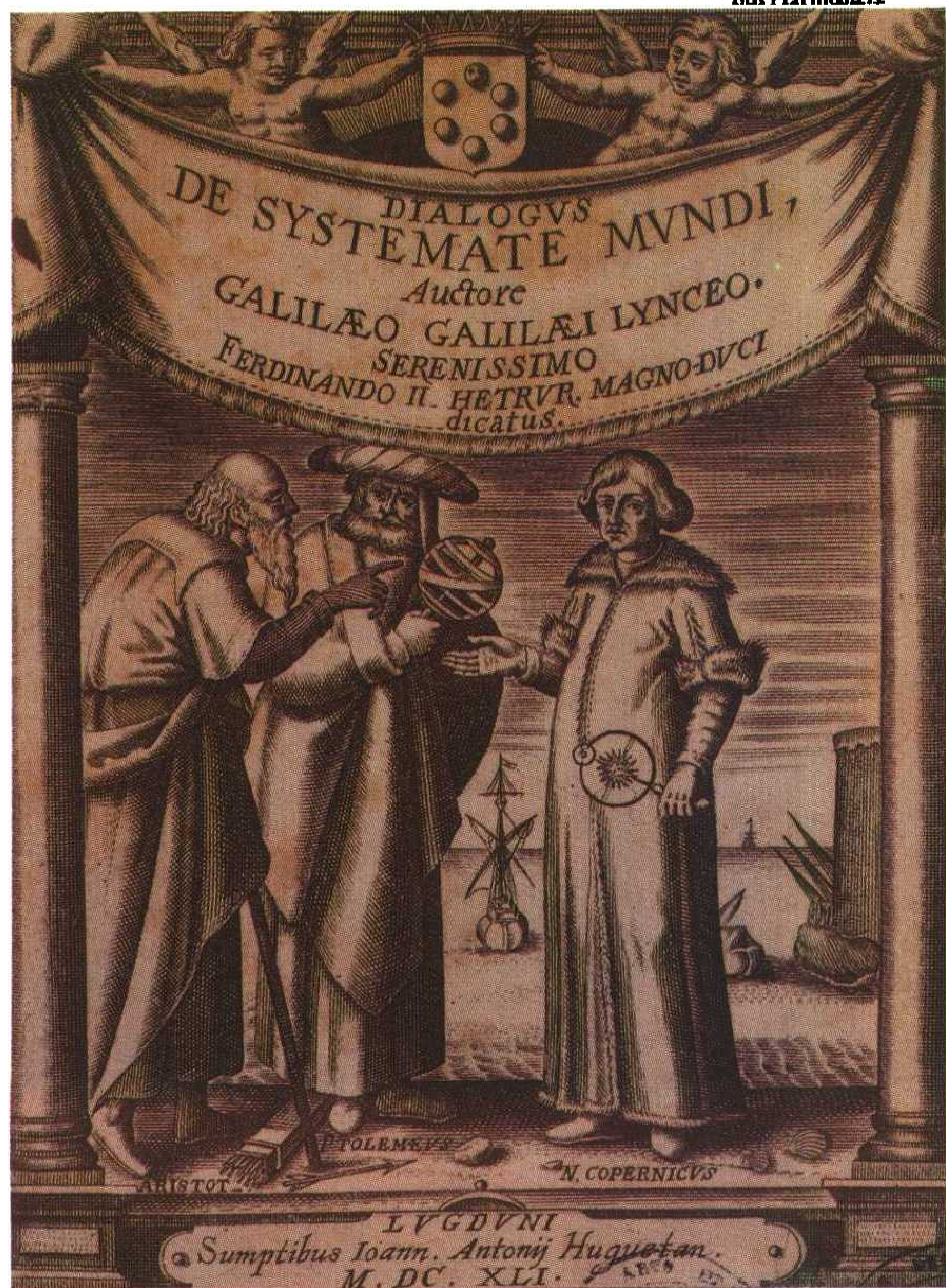
Primus GEOMETRICVS, De Figurarum Regularium, quæ Proportiones Harmonicas constituunt, ortu & demonstrationibus.

Secundus ARCHITECTONICVS, seu ex GEOMETRIA FIGVRATA, De Figurarum Regularium Congruentia in plano vel solido:

Tertius proprie HARMONICVS, De Proportionum Harmonicarum ortu ex Figuris; deque Natura & Differentiis rerum ad cantum pertinentium, contra Veteres:

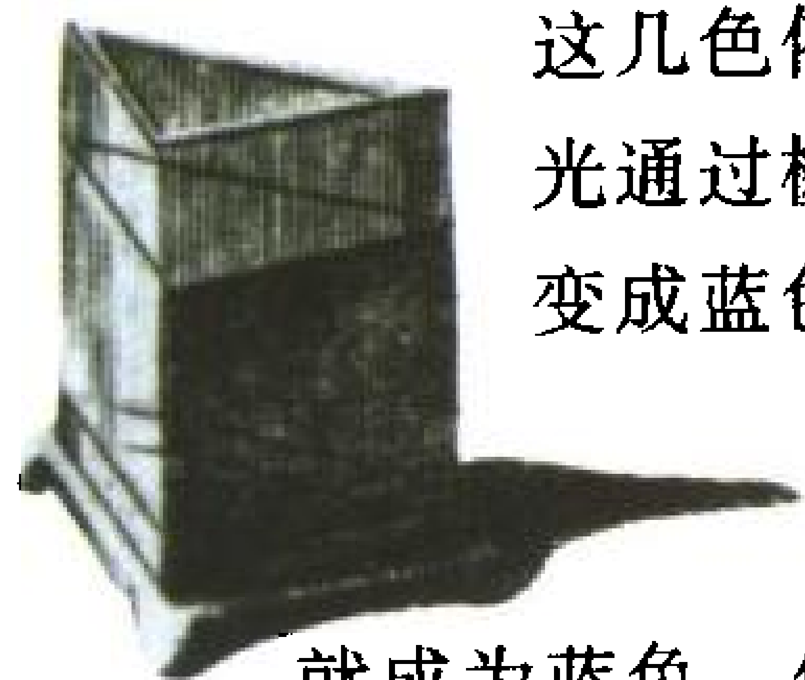
Quartus METAPHYSICVS, PSYCHOLOGICVS & ASTROLOGICVS, De Harmoniarum mentali Essentia earumque generibus in Mundo; præsertim de Harmonia radiorum, ex corporibus cœlestibus in Terram descendentibus, eiusque effectu in Natura seu Anima sublunari & Humana:

Quintus ASTRONOMICVS & METAPHYSICVS, De Harmoniis absolutissimis motuum cœlestium, ortuque Eccentricitatum ex proportionibus Harmonicis.



牛顿年轻时最爱读的两本书：开普勒的《世界和谐》（1619 年）和伽利略的《关于两大世界体系的对话》（1632 年）。开普勒的书里讨论了几何学和美学，也有关于形而上学的思考，还提到了行星运动的三大定律。牛顿后来提出证明，重新说明这些定律。至于伽利略的书就更重要了——伽利略昔日因这本书而获罪，但是后世认为，这本书奠定了现代天文学的基础。伽利略这本书出来后，天体的形象不再完美，大家开始用理性来认识天体。





这几色依序混杂愈来愈多的“暗”。当白光通过棱镜，上棱处会变成红色；底处则变成蓝色。很多人以为，这种现象是光穿过厚度不同的玻璃所造成的。底处光线穿过的玻璃厚，就成为蓝色。他们深信，水滴产生彩虹般的现象，道理和棱镜分得出色彩是相同的。

牛顿竭力思考光与颜色的道理。他先从笛卡尔的理念出发，然后加以发挥：或许“光的调变是纯粹力学上的过程，是因为光穿过玻璃时，速度变慢了”。他并削磨透镜，琢塑成适当形状，以防止色调变化。他从光中析解出诸色，这是从来没有人做过的。

看到虹时，人类总有惊艳的感觉。古代的人往往用神秘的特性来解释虹。从中世纪起，科学家开始研究虹，不过，牛顿是第一位正确说明虹的原理的人。在左页的图里，水面上的虹，是瀑布飞溅的水滴所造成的。

牛顿恍悟其妙：混合诸色之光，即得“白”光

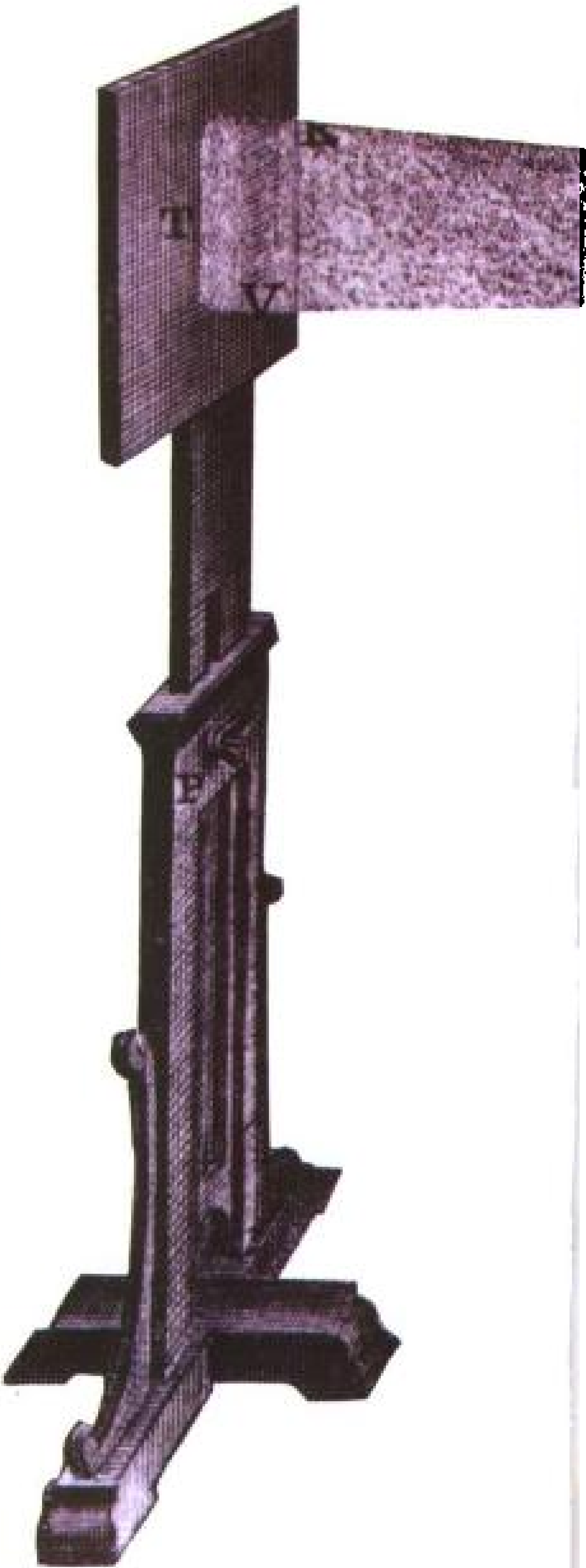
而且……是棱镜使得各种色光的折射程度各有不同。几年以后，在一封信中，他自述这个观念是如何孕育而出的：“1666 年初，我弄到一个玻璃三棱镜，对素有大名的色彩现象，进行探索。为此，我先把房间弄暗，在窗板上钻个小孔，让适量的太阳光进来，并朝着小孔放置三棱镜。照

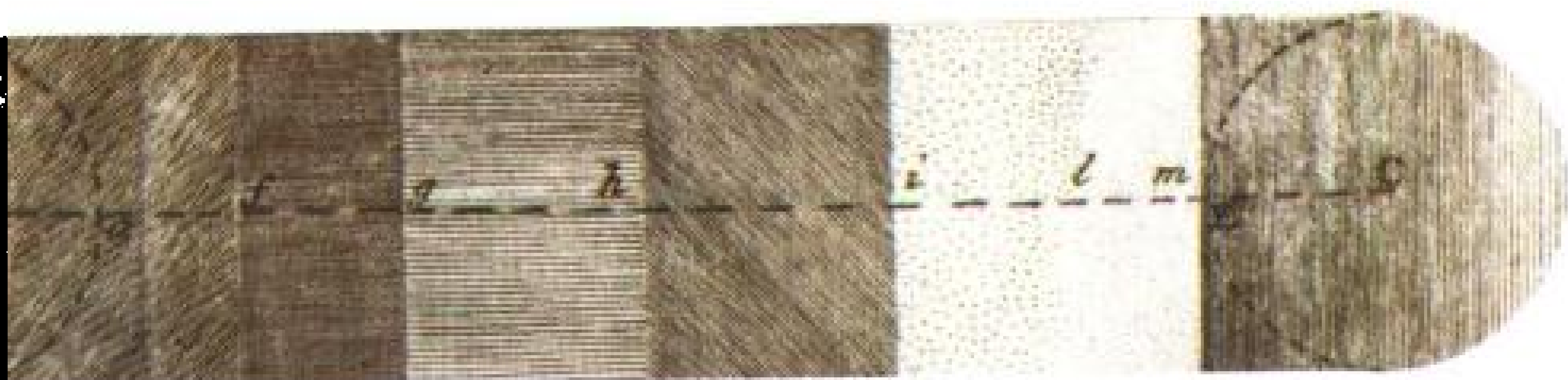
进来的光线，就会透过棱镜折射到对面的墙上。乍见鲜丽、美烈之色蕴生，甚感怡然有趣。”

他首先注意到，光点不只是有色的，而且色被拉得很长，穿过棱镜之后，“蓝色部分”偏折出来的色块，比“红色部分”被棱镜偏折得宽一些。原因何在？是由于棱镜的瑕疵吗？该如何查知？牛顿便想，试试看，在第一块棱镜后面放上另一块倒过来的棱

牛顿25岁那年，发现太阳的“白”光是由各种颜色的光混合而成的。







下图这个装置，比起牛顿用的器材当然是精巧复杂得多。牛顿利用的，只不过是一面棱镜，一个窗上的洞，和一堵墙，充当布幕，把光谱反映出来。

镜。依他推测，这偏折应该与棱镜的质地无关，而应是功率的问题；现在这样倒放一块棱镜之后，功率的偏差会得到补偿——果然，光点现在又圆又白；证明棱镜确实没有任何瑕疵。

牛顿渐渐进入他称为“决定性”的实验：他让光从窗板上的一个孔进来，然后隔离出由棱镜产生的光点的蓝色部分，再把这蓝色光发射到第二块棱镜上。可以看到蓝光也偏折了，同时，蓝光并没有扩展。

这一次，牛顿果然找到答案了：太阳的“白”光，的确是由各色的光混合而成的，是棱镜使各色光偏折的角度不同。从这个实验之后，牛顿反复做了许多有关光与颜色的实验，他发现，有好几种混合各色光的方法，都可以得出“白”光。

说来奇怪，牛顿对这非凡的发现三缄其口

他的缄默是有原因的。牛顿还只不过是一个大学生，他心知肚明，一个如此革命性的发现，必然会触怒教授。五年以后，当他也晋升为教授，并发明了反射望远镜，而得到他的同事的承认之后，他才把昔日的发现公诸于世。

终其一生，他总是在不得已的情况下，才公布自



己的发现；若要他主动宣布，那是有违他个性的。牛顿所关心的，是做实验和累积证据；其他的事他毫不在意。再说，他生性腼腆又近乎孤僻，怕与人争执，怕听讨论事物时的争吵声，要他像伽利略那样乐于议论，对他来说是格格不入的作风。

他发现光的混合性，守了五年秘密；若要知道另一个更重要的发现，得耐心等上20年。

这个20年以后才公开的重大发现，堪称是"神奇年"里，最最绝妙的成果：引力，万有引力……

凝视苹果和月亮……发现宇宙万物的原动力

古往今来，当天才迸出灵感的火花时，经常带来意想不到的变动和不安。而这个爆发灵感的时刻，往往也被形容得非常离奇。信不信由你，在传说中，牛顿是这样领悟出万有引力概念的：

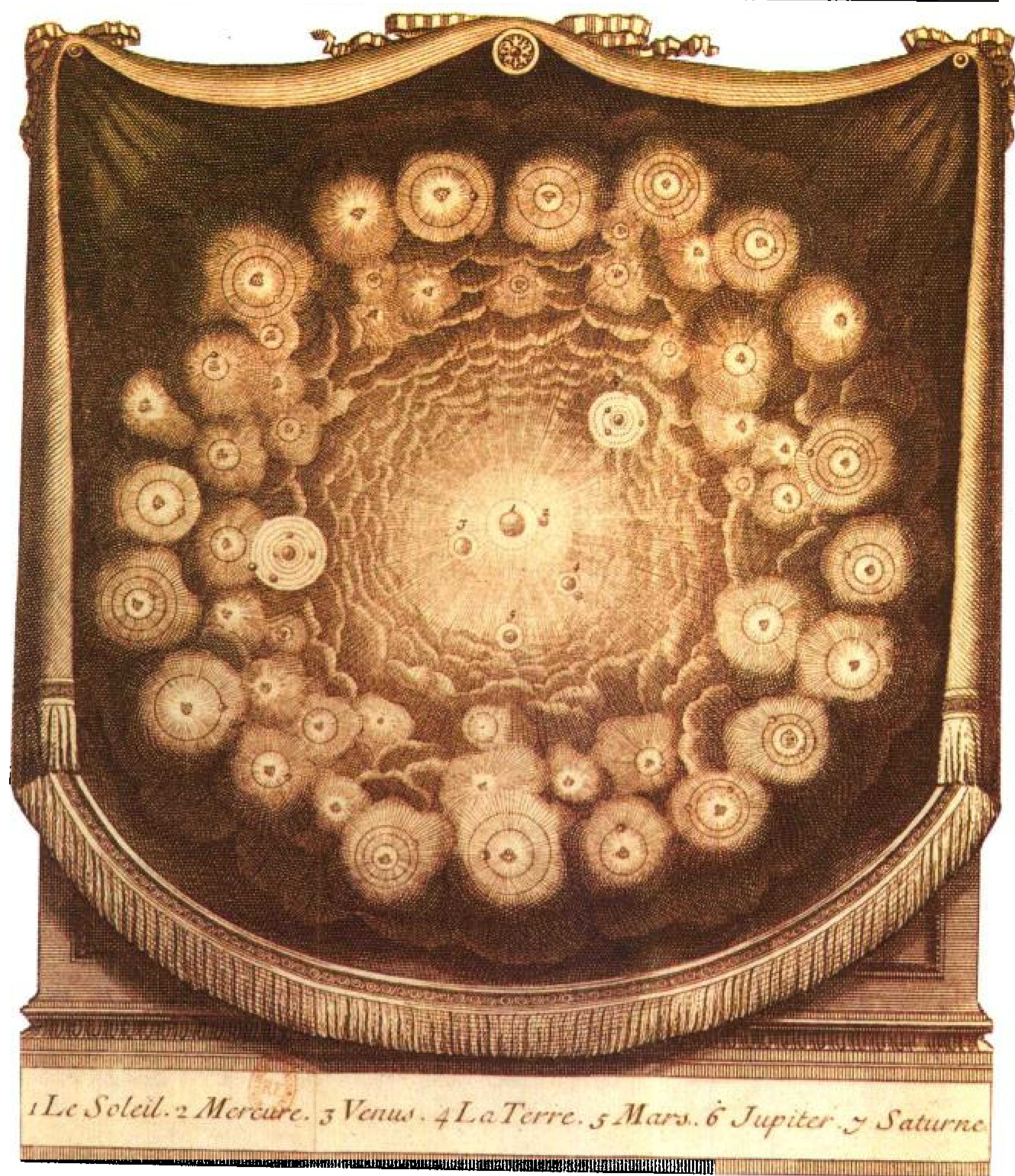
伍尔斯索普村，怡人的秋夜。牛顿坐在苹果树下，一面望着月亮，一面沉思。忽然，一颗苹果掉落到地上。所有的东西一旦失去支撑，必然会坠落，那么，月亮呢？它也没有支撑，它为何并不坠落呢？刹那间，牛顿"看见"答案：月亮也下坠！

苹果在西方文明里有不少故事。《圣经》里，夏娃吃了智慧树的果子，触犯上帝的禁令。希腊神话中，帕里斯（Paris）送给女神阿佛洛狄忒（Aphrodite）一枚苹果，竟然引起特洛伊战争。中欧有一则传说，威廉·退尔（William Tell）射中一只苹果，居然解救了瑞士。牛顿的苹果，当然更是声名赫赫：在有些画家笔下，苹果从树上落下，砸了牛顿脑袋。有些画家画出牛顿注视着一颗地上的苹果。不管实情如何，牛顿怎么"看"苹果并不重要，他把苹果和月亮联想在一起，而且找出关系，这才要紧。

月亮要不是一直向前行，消失在无限远处，就是会落向地球。牛顿进一步推论，月亮确实会下坠，然而由于它的“切向速度”非常大，大到它足以一方面向心下坠，一方面又恰好保持一定的轨道，绕地球运行，而且与地球维持一定的距离。

如果前述的推论成立，月球是绕着地球转的，那么，地球和其他行星绕着太阳转；伽利略





最得意的发现——木星诸卫星——绕着木星转；最近发现的土星卫星泰坦(Titan)，绕土星转……

太阳系里众星运行；秋夜里，伍尔斯索普小村内一个苹果坠落于地；这些现象是不是都可追溯到同一个源头？找到同一种解释？

牛顿同代人还不能解释彗星的起由

这时是 1665 年，大约在一百二十多年前，哥白尼 (Nicolas Copernicus) 公布了他的宇宙体系学说，认为行星是绕着太阳运转的。五十年前，开普勒确立了行星运动的定律。三十年前，伽利略受到教会处罚，只因为他用望远镜观察天象，所获得的发现，肯定了行星运动的规律……从教会的观点来看，伽利略打破了地界和天界之间的阻隔，这是两千年来不曾有人跨入的禁地，他当然该受罚。

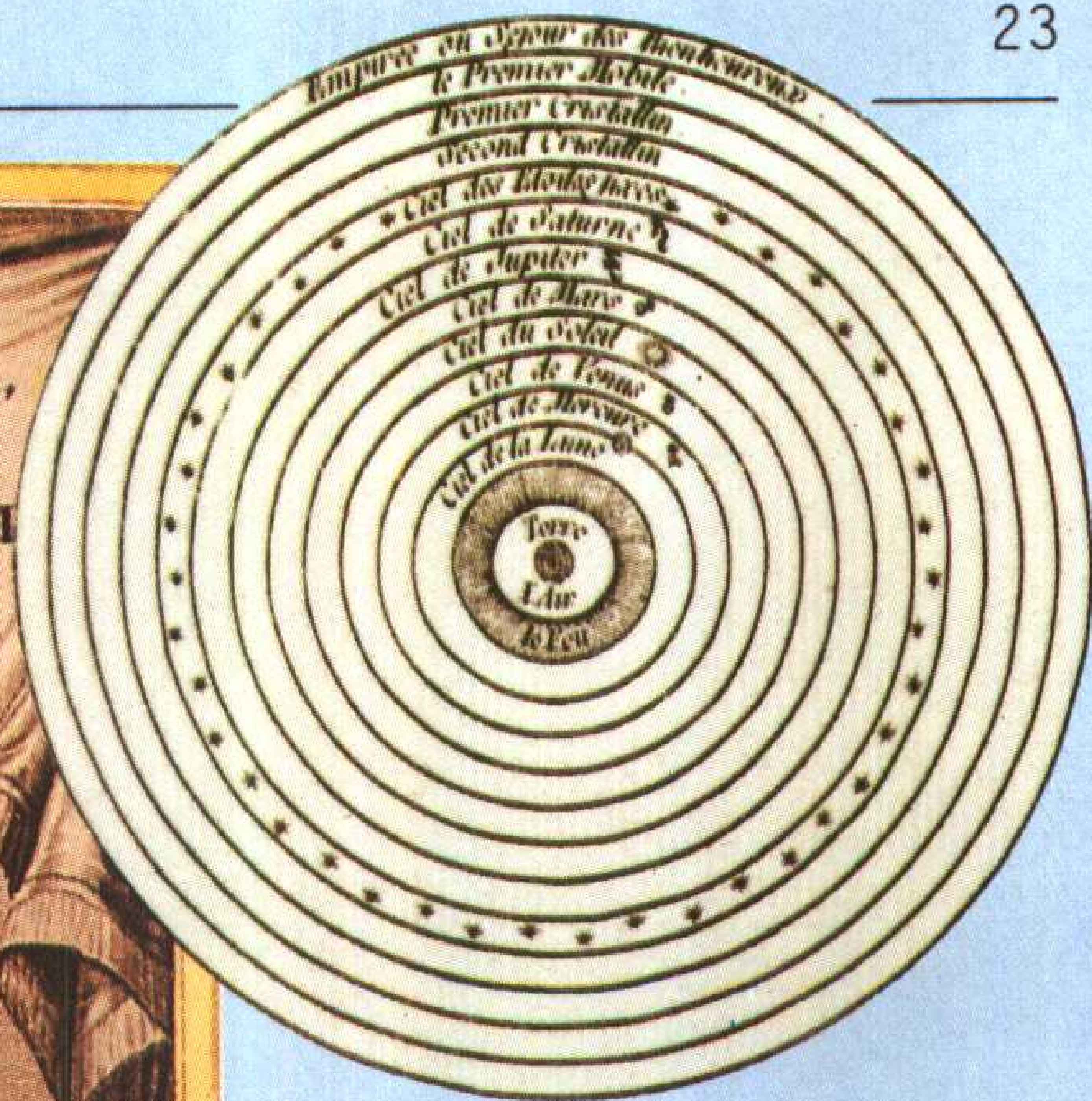
自柏拉图和亚里斯多德以来，天文学和物理学互不相干，而探求天体运动的自然起因，是一种禁

繁复的行星系统让人看了眼花缭乱，厚厚的云层更吸引人的目光——左页这幅18世纪的版画里，厚云象征宇宙黑暗；太阳光使得厚云后退了。希腊哲学家帕门尼德 (Parménide)，在两千年前就已提倡用理性来思考现象；然而在许多艺术家心上，仍有一片暧昧的昏暗。

伽利略的见解也就不言自明



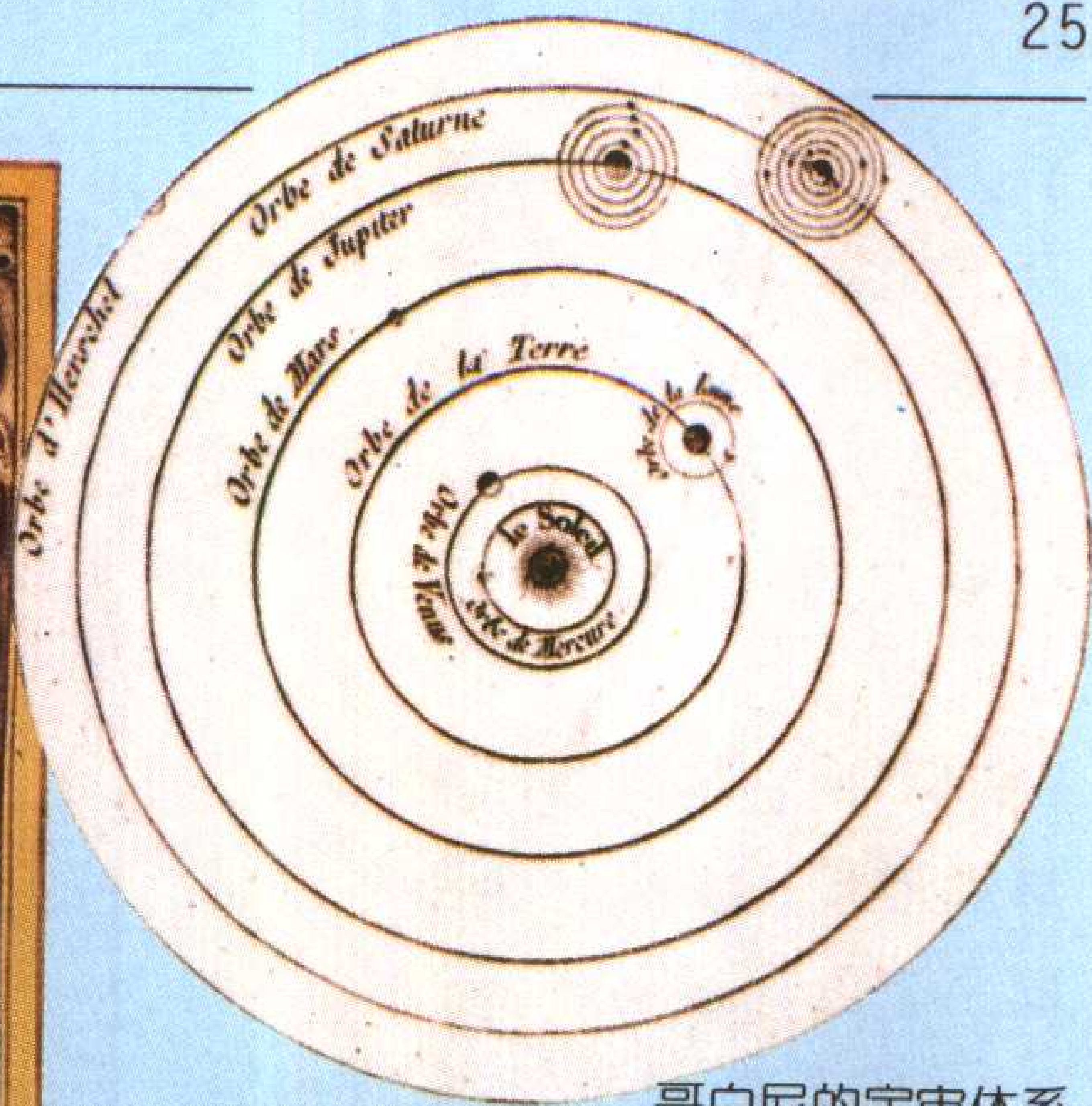

PLANISPHÆRIVM
Sive
MVNDI TOTIVS,
TYCHONIS
PLANO
Præstant Amstelædami apud
GERARDUM VALK, et
PETRUM SCHENK.
CAPRI CORNVS
SAGIT
AQVA RIVS
PIS CES
ARI ES
TAV RVS
GE MINI
CAN
CIRCVLVS IOVIS
CIRCVLVS MARTIS
MARS
VENVS
CIRCVLVS VENERIS
MERCVRIVS
LVNA
SYSTEMA PLANETA RVM SOLEM HUC DESCENDEN TEM COMI TANTIUM.
MARS MARTIS CIRCVLVS
IVPITER IOVIS CIRCVLVS
SATVRNVS SATVRNI CIRCVLVS



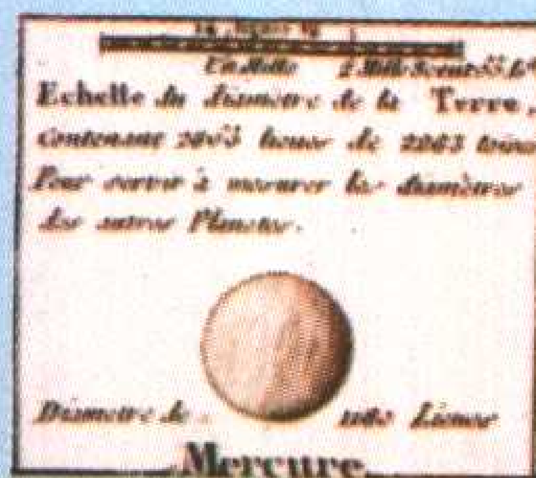
第谷的星系图

文艺复兴时代的西方人，开始怀疑已流传千年的托勒密星系说法。在托勒密的解释里，天空中的星体形成一个完美的秩序，地球位于宇宙中心，其他星体则绕着地球转，所形成的运转轨迹就像上面这幅图。不过，“地球是宇宙中心”的想法，以及“地球不会运动”的观念，仍然深植人心。有些天文学家也无法捐弃定见，例如16世纪时的第谷·布拉赫（Tycho Brahe）他认为所有的星体围绕太阳运转，而太阳又绕地球转，至于地球，仍然是宇宙的中心，也并不运动。


PLANISPHÆRIVM
Sive
VNIVERSI TO:
EX HYPO:
COPERNI
PLANO
Prostant Amstelædami apud
GERARDUM VALK, et
PETRUM SCHENK
ORBIS SATVRNI
SATVR NVS
MARTIS
MARS
VENVS
ORBIS MERCVRII
MERCV RIVS
VENERIS CIRCULUS
GLOBI SVBLVNARIS
LVNA CVM MVNDO SVBLVNARI
QVATVOR ELEMENTIS SE CIRCA SOLEM VENEREM ET MERCVRIVM MOVENTIS CIRCVLVS
SIGNA
TRIA
MEN TVM

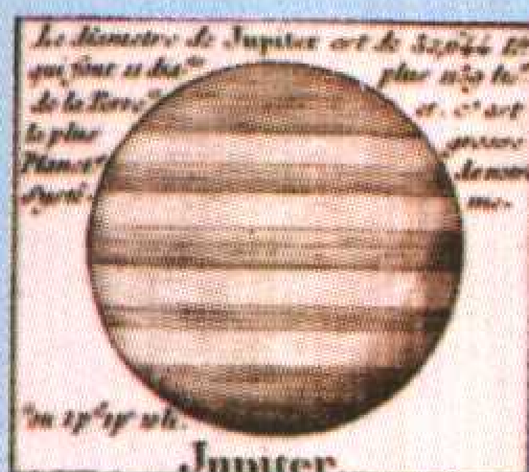


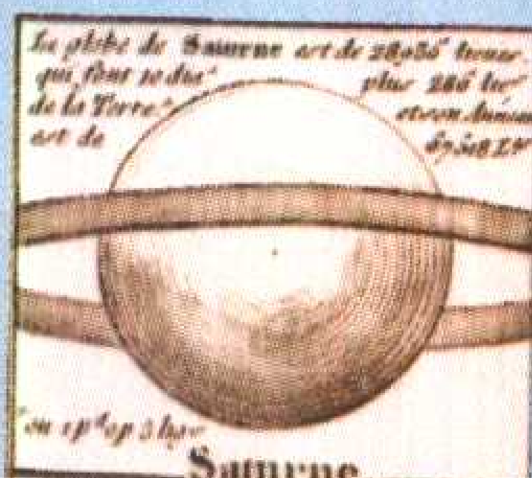
哥白尼的宇宙体系

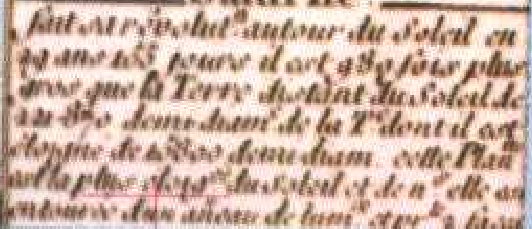






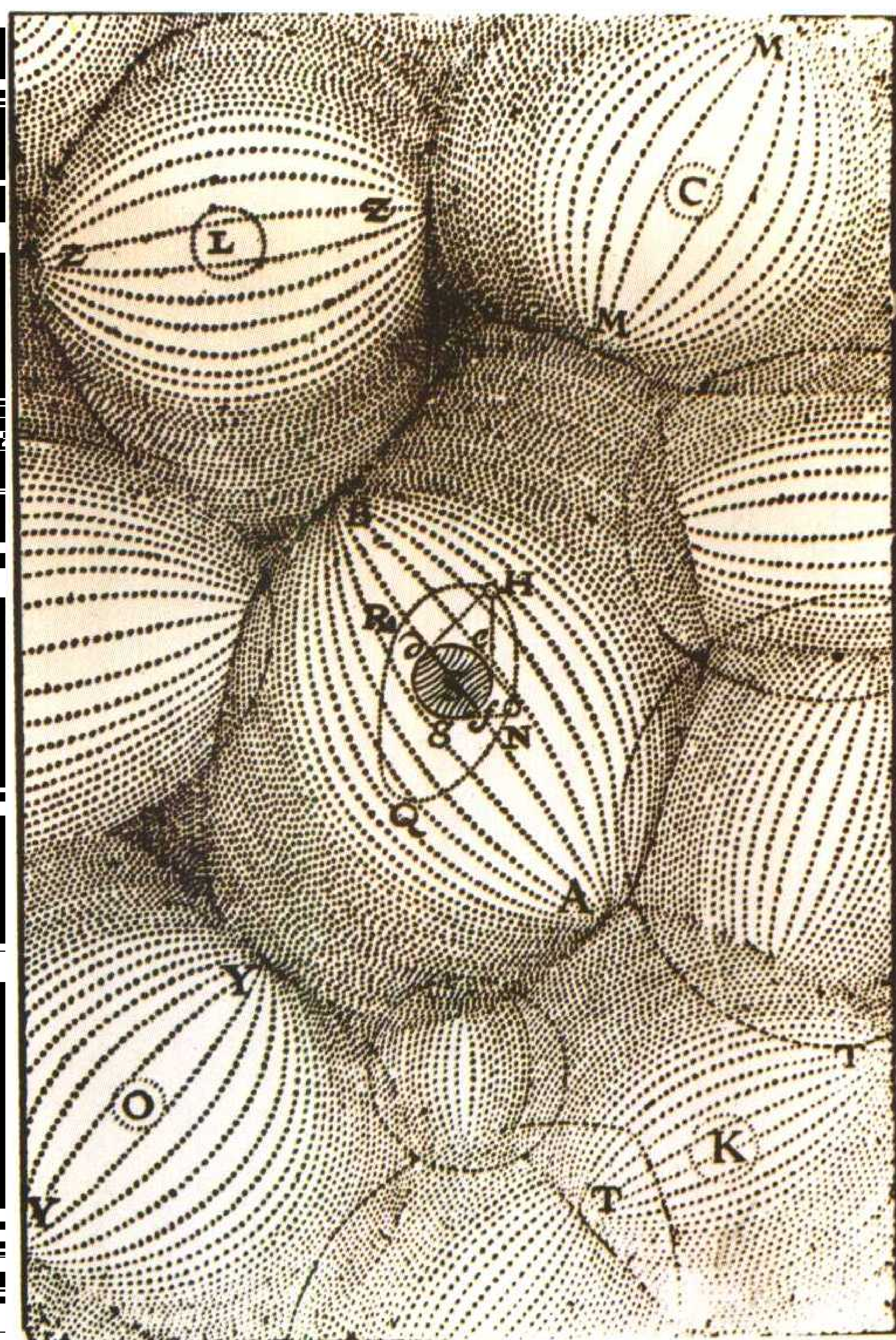






哥白尼画出来的星体轨迹，有很大的改变：地球不是宇宙中心，而是太阳系的一颗行星，与其他行星一样，绕着太阳运转。由于仪器逐渐改良，人们慢慢知道其他行星的模样，然而还不晓得它们的大小——若想算出来，得先推算出各行星距离多远，这样也就知道了太阳系的范围有多大。所以，首先要测出地球到太阳，太阳到火星等等，各行星与太阳的相对距离。上图是1800年出版的星系图，中心是太阳，由内往外的轨迹分别是：水星、金星、地球、火星、木星、土星，以及赫歇耳（Hershel）星云——后来才知道这是另一颗行星，天王星。

[redacted]



[redacted]

1791

DESCARTES COMPOSANT SON SYSTÊME DU MONDE.

René Descartes, né à la Haye en Touraine en 1596, | la gloire de la France. Christine, Reine de Suède, fut plus

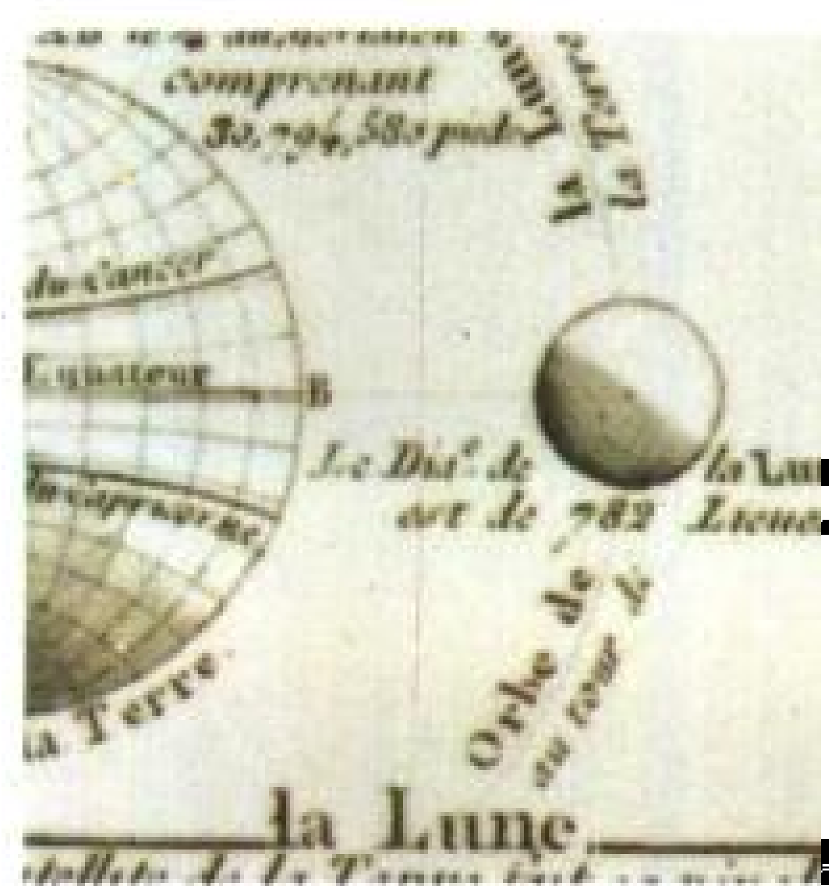
的数学仍不足以解答行星轨道这问题。为了获得更进一步的答案，牛顿显然必须发展出更新的数学。

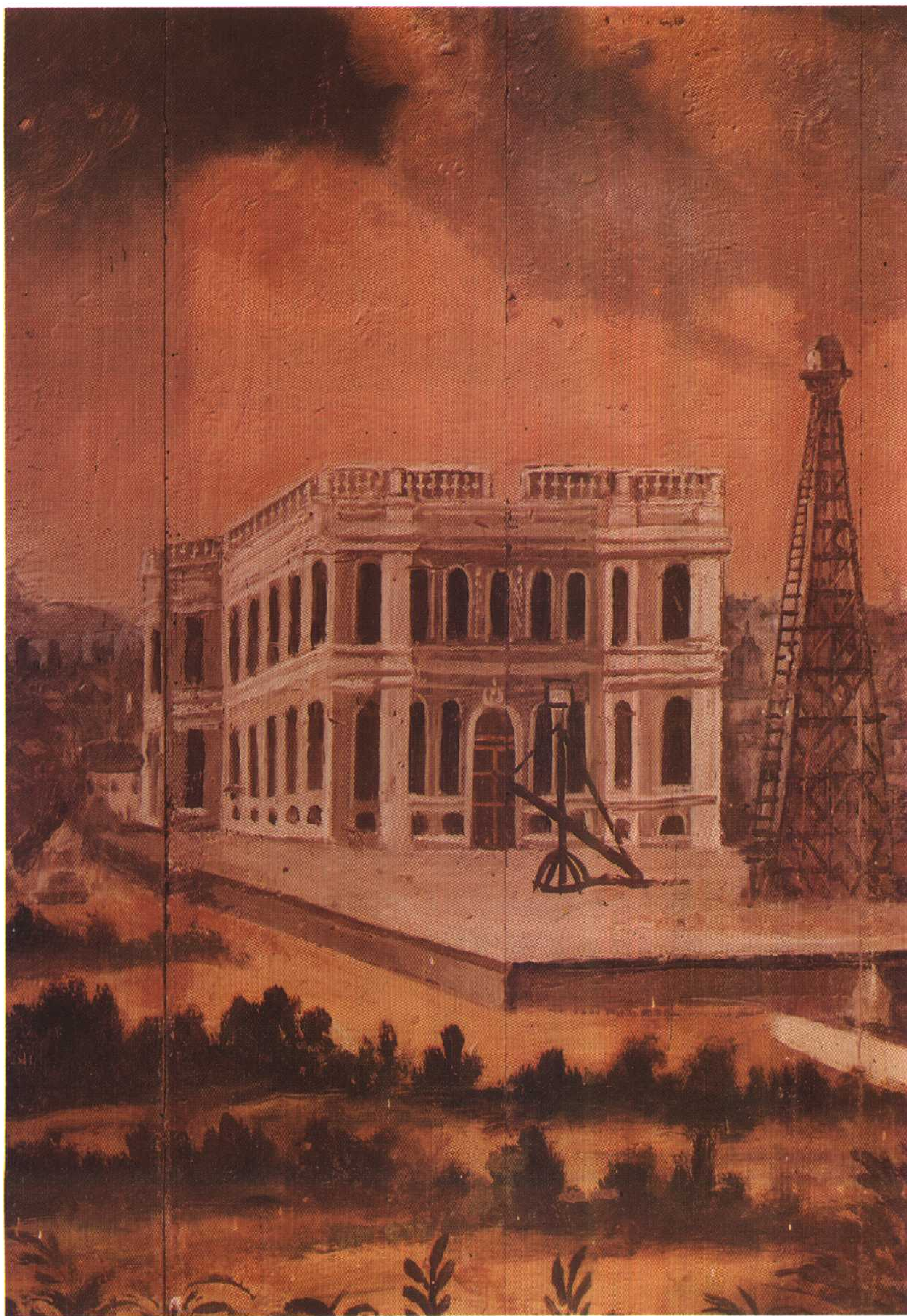
牛顿是从球心（地球或太阳）来计算距离的，然而他不想只满足于假定，而要亲自去验证。另外，他还打算深入探讨伽利略所提出的，关于力与运动的理论。他手上还“多的是事呢”。

当然，他不急着发表什么理论，也不急于向别人高谈他那些发现。所有的人都得等上 20 年，才能得知万有引力定律。

在这 20 年当中，欧洲的天文学即将脱胎换骨，势无可挡矣！

月亮的直径大约是地球直径的四分之一；月亮的中心到地球中心的距离，差不多是地球直径的三十倍。





"1667年6月21日,星期二,
这一天是夏至。
奥祖(Auzout)、弗雷尼克尔(Frenicle)、
皮卡尔(Picard)、比奥(Buot),
以及里歇(Richer)诸位先生,
一大早就来到天体观察仪前。
他们要在一块大石头上画出一条子午线……"
于是巴黎天文台动工了。
巴黎天文台的科学家就要去测量地球的大小,
地球到太阳的距离,以及光速。

第二章

现代天文学的诞生

1667年,许多欧洲的天文学家聚集在巴黎。建了一座天文台之后,巴黎摇身成为天文学研究的重地。



1666年，科尔贝(Jean B. Colbert)创建法兰西科学院。其实，过去三十年来，法国许多科学家便已定期聚会，谈论他们的工作和发现。最常见的情形，是他们一齐到某一人的家中。

在巴黎，这些聚会是在泰弗内(Melchisédec Thévenet)家里举行的。泰弗内特立独行，凡有关科学的事，什么都碰一碰。他也喜欢搜集各种新鲜有趣的东西，每每殚精竭力而乐此不疲。

英国哲学家霍布斯(Thomas Hobbes)，便是在泰弗内家里，经由别人介绍，认识了笛卡尔。

几位兼治哲学的科学家，例如罗贝瓦尔(Gilles de Roberval)、伽桑狄(Gassendi)、帕斯卡(Blaise

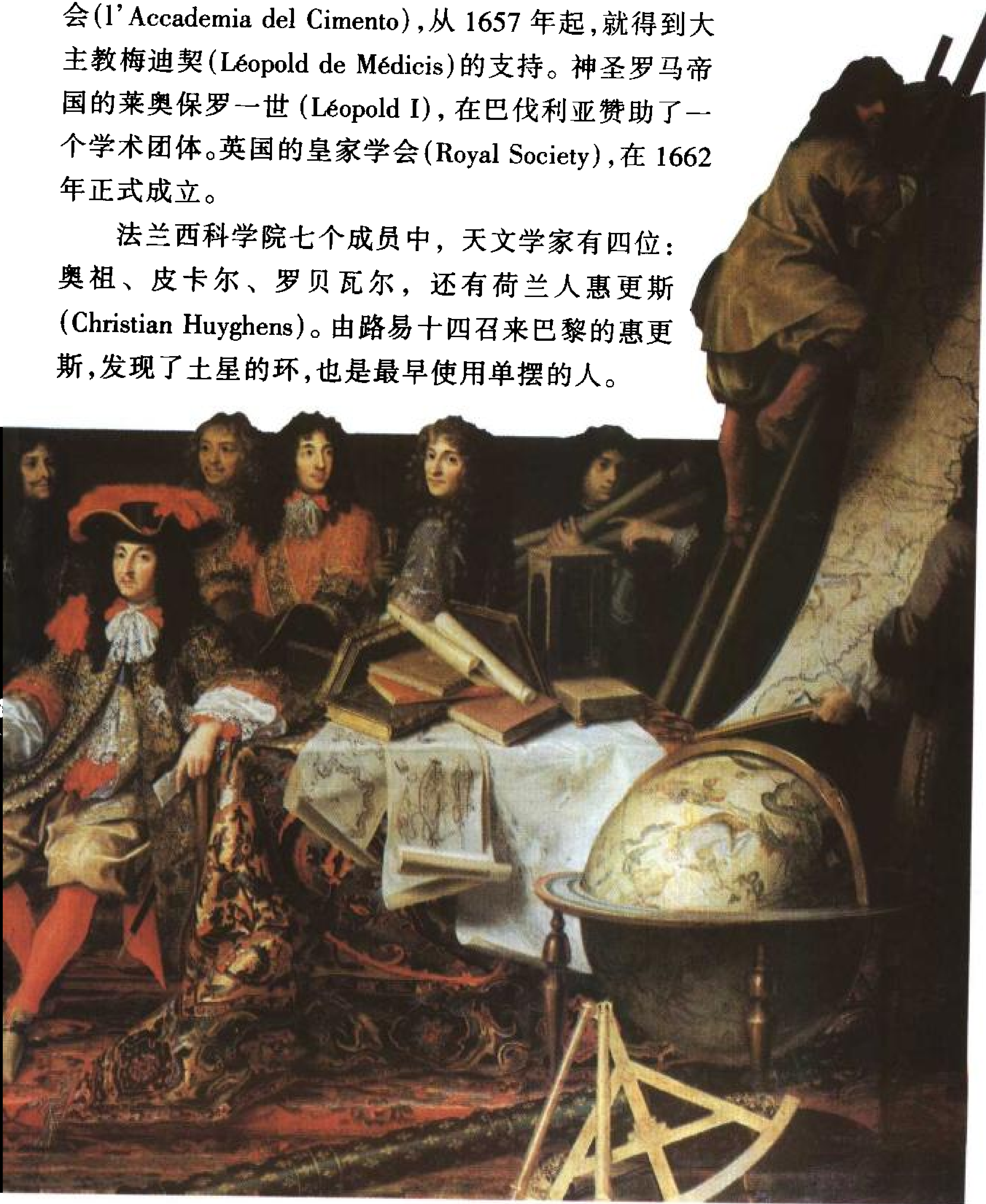
《趁天文台创建之便，科尔贝把科学院的成员介绍给国王路易十四》。不过，这只是这幅画的题名罢了，路易十四一直要到1682年才参观了天文台。但是有件事倒是真的：巴黎天文台得以建立，一来是由科尔贝奔走呼吁，二来是得到路易十四首肯。



Pascal)等人,都经常出入这个圈圈。

在其他国家,早已有一些类似的团体得到王室赞助,或已享有官方认可的地位。佛罗伦萨有个试验学会(l'Accademia del Cimento),从1657年起,就得到大主教梅迪契(Léopold de Médicis)的支持。神圣罗马帝国的莱奥保罗一世(Léopold I),在巴伐利亚赞助了一个学术团体。英国的皇家学会(Royal Society),在1662年正式成立。

法兰西科学院七个成员中,天文学家有四位:奥祖、皮卡尔、罗贝瓦尔,还有荷兰人惠更斯(Christian Huyghens)。由路易十四召来巴黎的惠更斯,发现了土星的环,也是最早使用单摆的人。



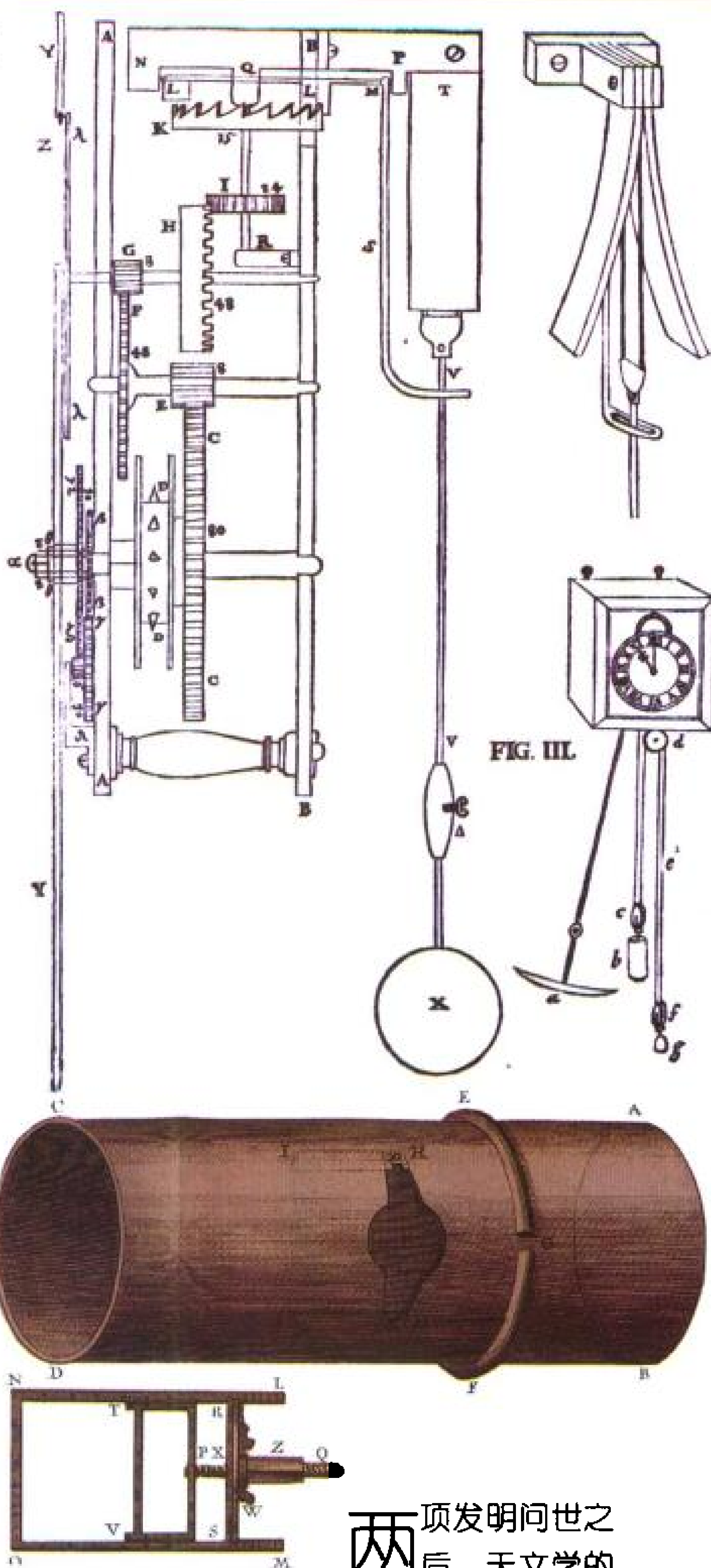
摆钟和测微器把天文测量的精确度提高十万倍

17 世纪初，伽利略计算时间间隔的办法，是数自己的脉搏；显然，他也是用这种方法研究摆的振动——相传他在一次冗长无聊的弥撒中，一直瞧着一个大吊灯在摆动……不管实情是不是这样，总之，他发现了一个现象：在比较小的钟摆振动中，钟摆来回一次所花的时间（周期），与钟摆摆动的幅度没有关系。

伽利略这个见解激发了惠更斯的灵感——他利用单摆来操纵计时器。在那个时代，所谓的机械时钟其实还很粗略，只不过是用一个弹簧片绷紧了来调整；反而是水钟好用些，例如牛顿年轻时在伍尔斯索普装的那种。

惠更斯这项应用是一大革新。单摆的运动，由它本身的摆轮来控制，可以维持规律的来回摆动。到 1665 年左右，机械钟每 24 小时才只有一秒之差，精确度提高了上千倍！

奥祖发明的测微器是一种观测工具。测微器里有一枚螺丝，转动螺丝，就带动了望远目镜前的一条金属线，然后把线调正，对准镜里星星的影像。在一个有刻度的鼓上，标出螺丝旋转的角度，可以测量出细线的位移到 0.01 厘米。对位置的测量精确度提高了一百倍。

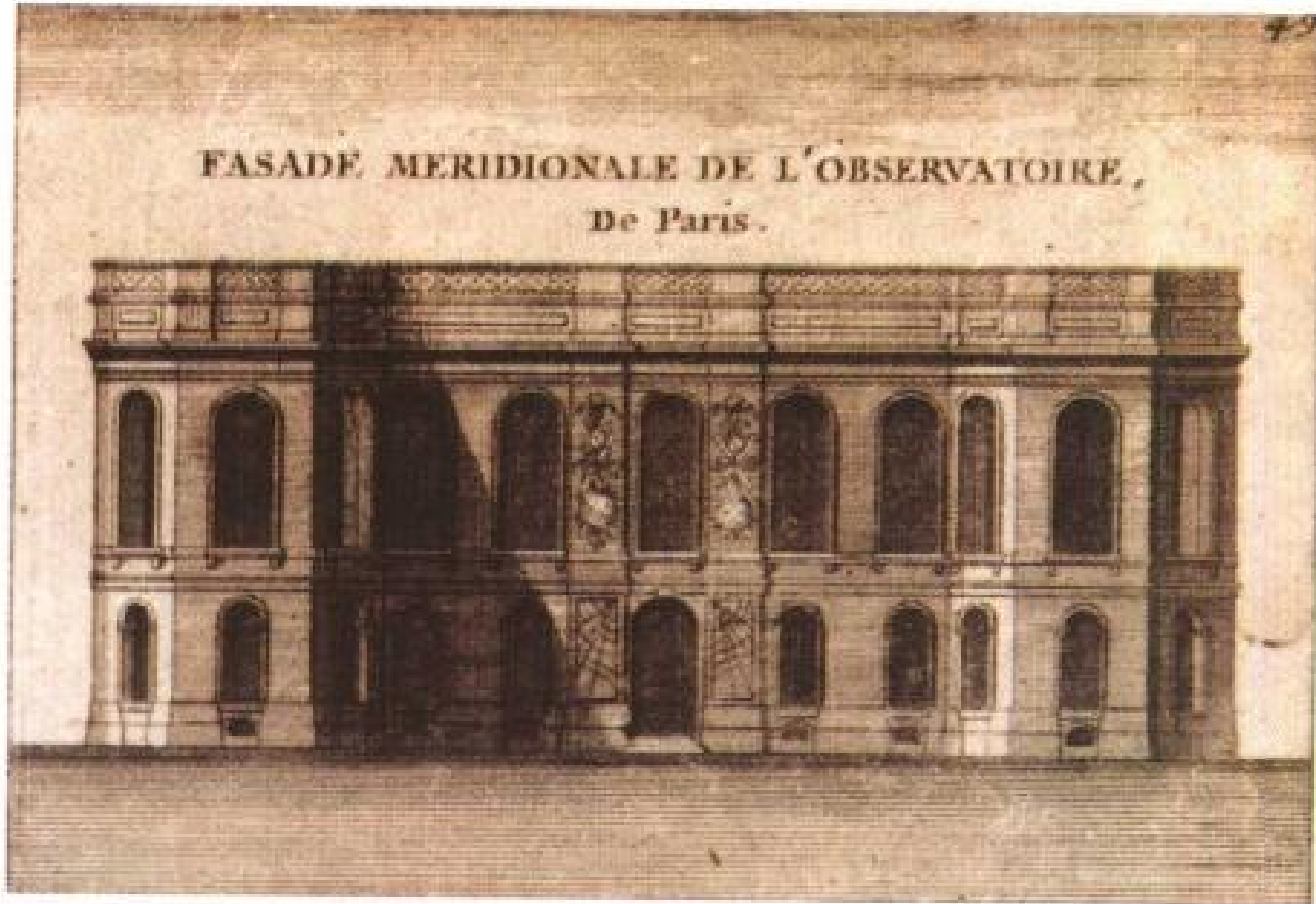


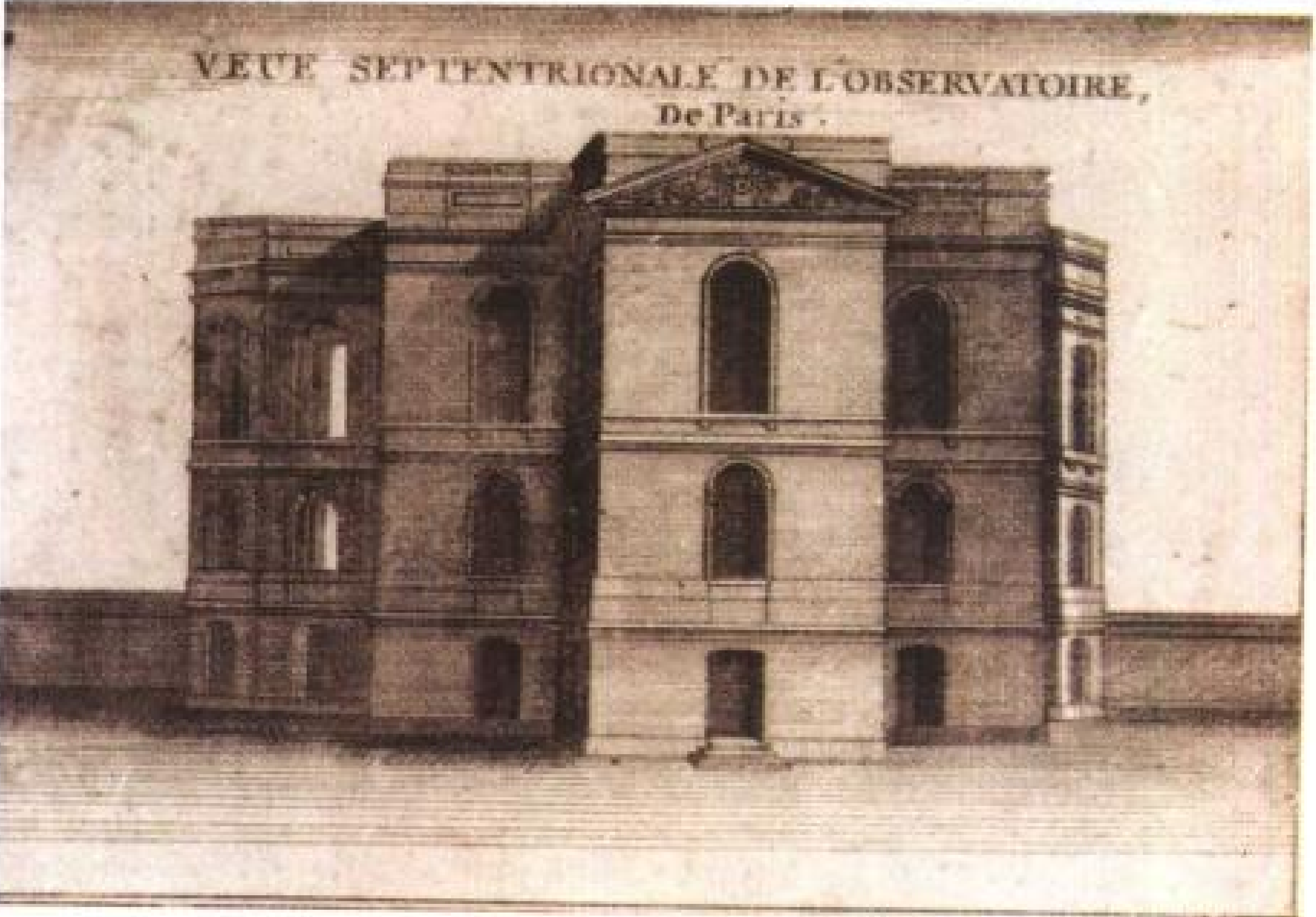
两项发明问世之后，天文学的测量逐渐精确：一项是惠更斯的单摆钟（上图是它的结构图），另一项是奥祖的测微器（下图）。

[redacted]



[redacted]





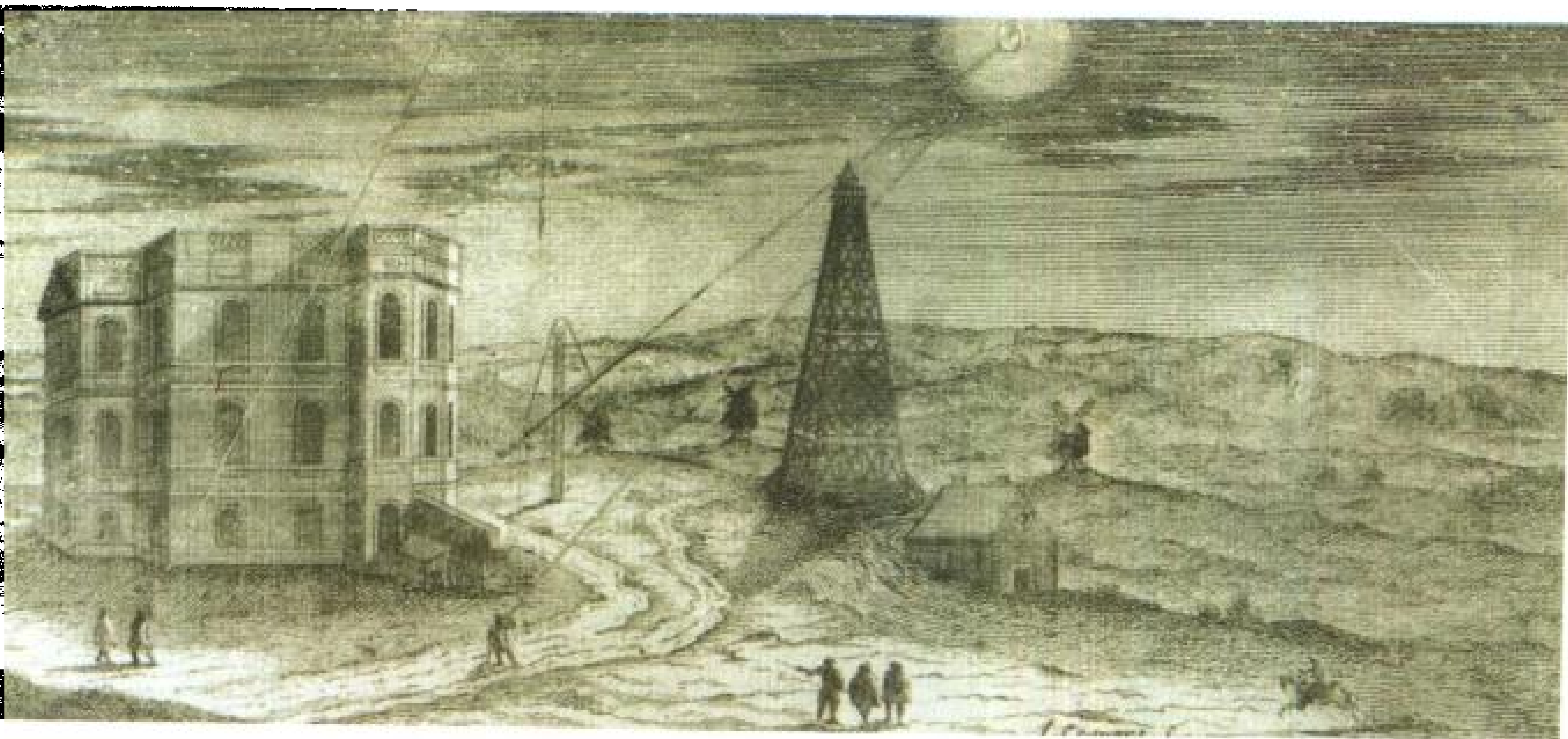


路易十四下令，把马赫利塔(Tour de Marly)搬到天文台花园里，好让卡契尼有地方可以安装他的观物镜。卡契尼后来没有架起长管子，反而是把镜片拿在手上，在花园里四处走动，用一个物镜观看十几米远的景象。

大约在1835年，天文台扩建，两侧建了楼，搭盖起圆顶。主楼仍然维持原样。

角大小，以及三边中任何一边的长，就可以求出其他两边的长。在这个即将要测量的区域——此处是法国科学家想测的子午线区域——内，再细分出若干个三角形。这些小三角形的顶点，是一些这个区域里可见到的地标，例如建在山丘上的钟楼、信号标等。然后，很仔细地测量出这些小三角形的各个角。接着，再用量杆求出一边的长(底边)，大约是10千米左右。只要再算出其他各边的长，最后就可以算出"一度子午线"两端点的距离。这是用天文方法确定的。

日全蚀遮盖的区域面积不大，最多几千米宽。为了观察日蚀，必须把必备的仪器搬到外面，而且得搭个临时的棚子。



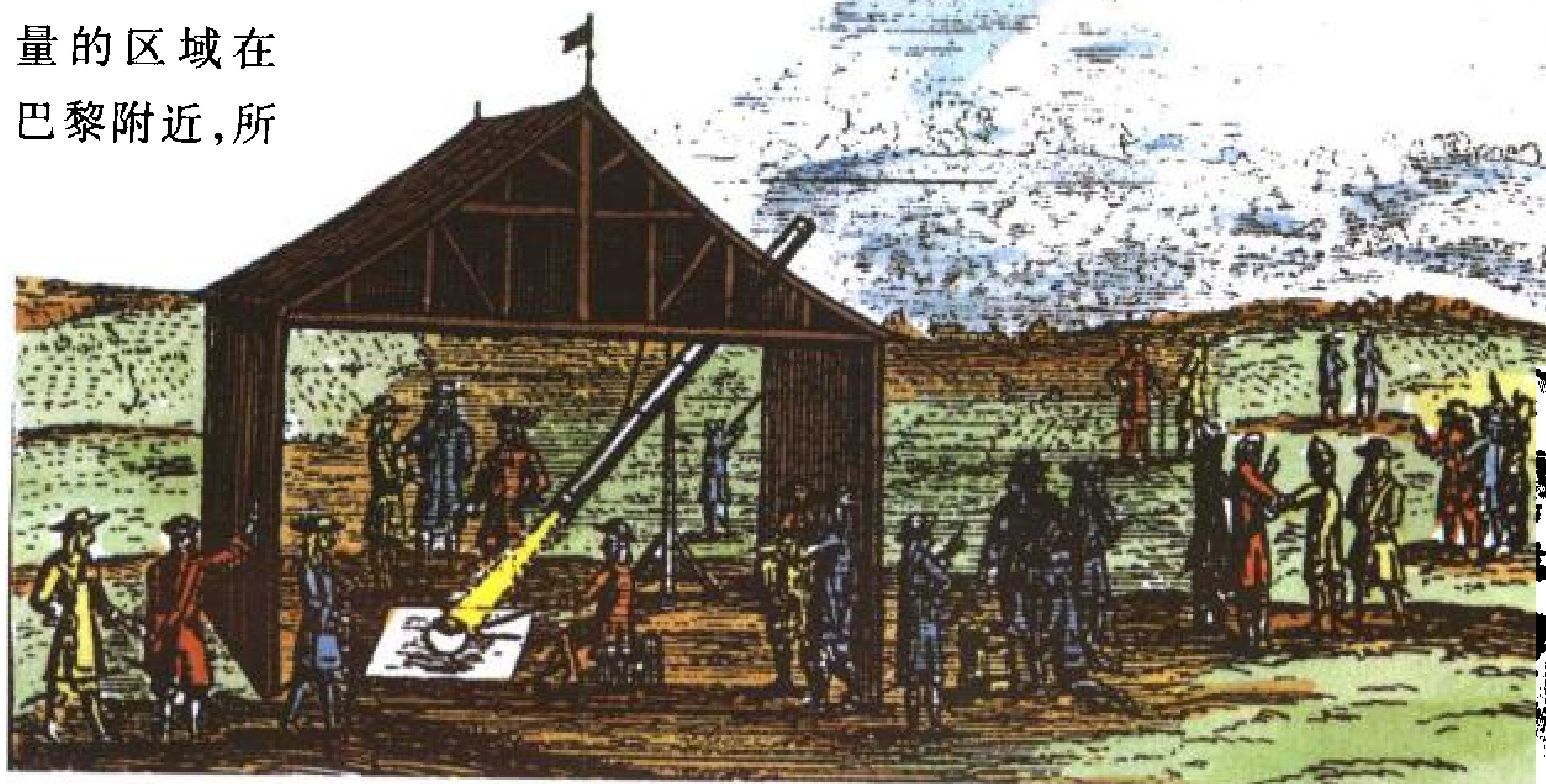
皮卡尔测量出巴黎和亚眠的子午线弧长度



皮卡尔神父当过伽桑狄的助手，曾经和伽桑狄一起观察了1645年8月21日的日蚀，也曾帮奥祖的测微器出过主意。从法兰西科学院创建之初，他就在那里工作。他监督了天文台第一批仪器设备的建造，而且写了非常详细的使用说明。他1671年写下的这些说明，到现在都还管用。



同时，他还测量了地球的周长。说来幸运，他负责测量的区域在巴黎附近，所



以他可以经常回巴黎，继续其他一些研究工作。

在测量现场，他得先把已装了测微器的望远镜，安装在构成三角形的钟楼和塔顶上。他有一个半径长达3.25米的扇形天文学仪器，正是要用来测量子午线上两个定点的距离。因为怕用马车载运会影响这仪器的精准，所以把它放在担架上，从巴黎徒步扛到亚眠(Amiens)。

为了量出这个三角形底边的长度，参与测量工作的人前后测了两次，每次都用一根八公尺长的量尺，而且每量一次，都要用铅垂线和角尺确定量尺放准了。最后，皮卡尔公布他的结果：一度子午线长是57,060古法尺(toise)，大约合11千米。

这个结果对于牛顿是很重要的——我们等一下

测量出子午线一度弧的长度后，皮卡尔意犹未尽，想要测量全法国。从1676年开始，他不时出发考察探险。五年下来，他把法国的海岸线画了出来，出版了第一份法国海岸线地图。1682年时，有人把这份地图呈给路易十四看，法王同时看到皮卡尔所画的图，以及沿用多年但是不正确的旧图，两图相叠，差距不小。法王语带讽刺地说，这图可让他丢了不少国土。

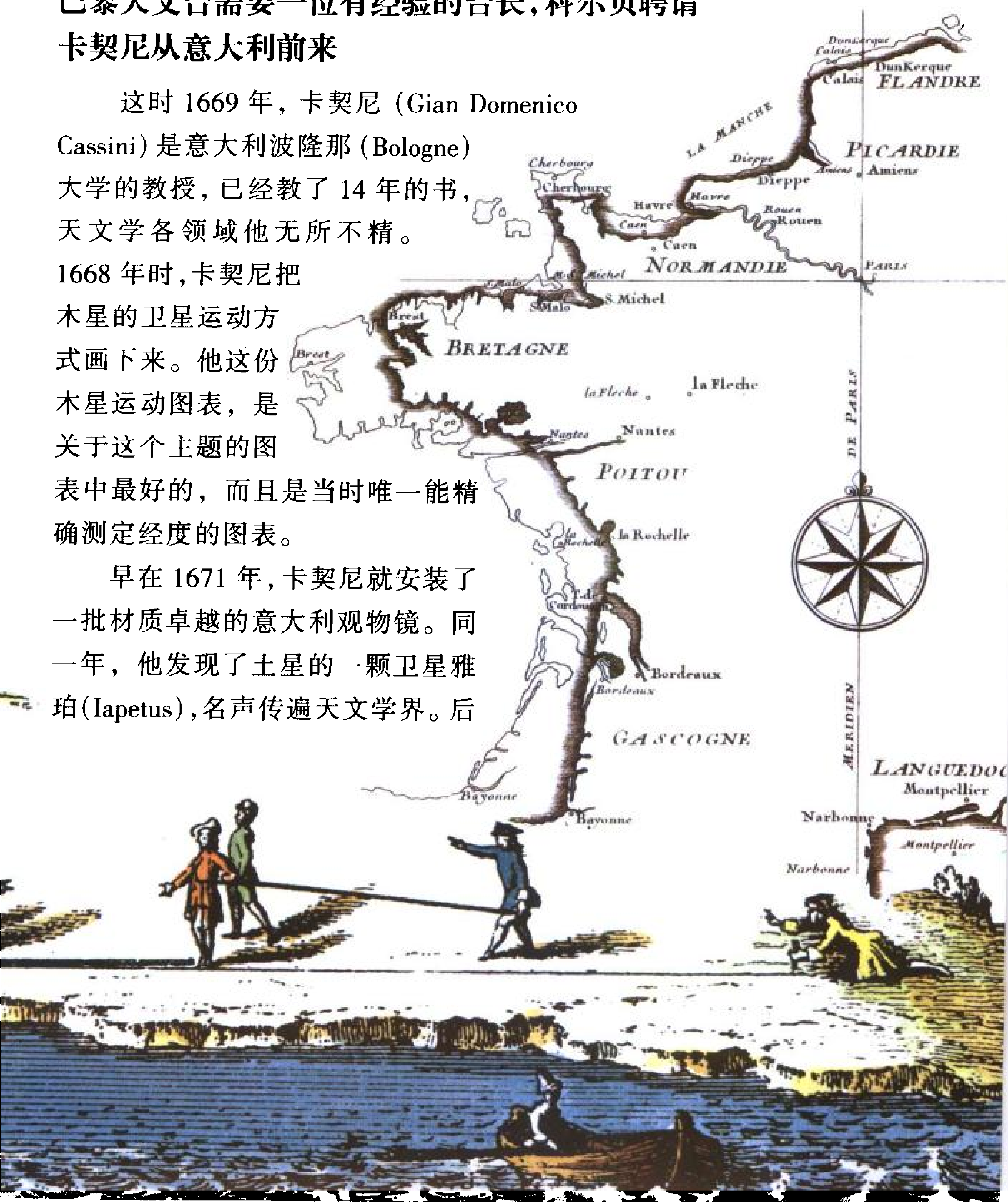


会知道。这个测量也相当精确：误差为 0.1%。约一个世纪以后，在 1756 年，拉卡耶（Lacaille）所作的测量，误差也还有 0.03%。

巴黎天文台需要一位有经验的台长，科尔贝聘请卡契尼从意大利前来

这时 1669 年，卡契尼（Gian Domenico Cassini）是意大利波隆那（Bologne）大学的教授，已经教了 14 年的书，天文学各领域他无所不精。1668 年时，卡契尼把木星的卫星运动方式画下来。他这份木星运动图表，是关于这个主题的图表中最好的，而且是当时唯一能精确测定经度的图表。

早在 1671 年，卡契尼就安装了一批材质卓越的意大利观物镜。同一年，他发现了土星的一颗卫星雅珀（Iapetus），名声传遍天文学界。后





来，他于1672年又辨识出土星另一颗卫星雷亚(Rhea)；1684年，再发现泰蒂斯(Tethys)、戴奥尼(Dione)这两颗卫星。此外，他又发现了土星光环的裂隙。不久后，他要和里歇(Jean Richer)合作，测量太阳到地球的距离。

卡契尼家族一连几代都是巴黎天文台的台长。1669年老卡契尼应科尔贝之邀，前来上任；1793年卡契尼四世卸下任务。前后四人，历时一百三十多年。老卡契尼之外的三个，在测量学和制图学上小有成绩，但是，即便把三人的成就相加，也难与老卡契尼相提并论。老卡契尼发现了四颗土星的卫星和土星环的“缝”，和里歇一起推算出地球到太阳的距离，制作了一张月亮的大地图，算过金星的运转周期，并且不断修订他的木星卫星表。

再列举卡契尼的成就：巴黎天文台兴建和配置仪器事宜，卡契尼从旁监督，他也是天文台的台长，兼管科学研究和行政事务；他并且培养出一批新生代的天文学家。科尔贝找卡契尼来，一定是选对日子了。

皮卡尔来到丹麦的一个岛上，以确定第谷·布拉赫所建的乌拉尼堡天文台的位置

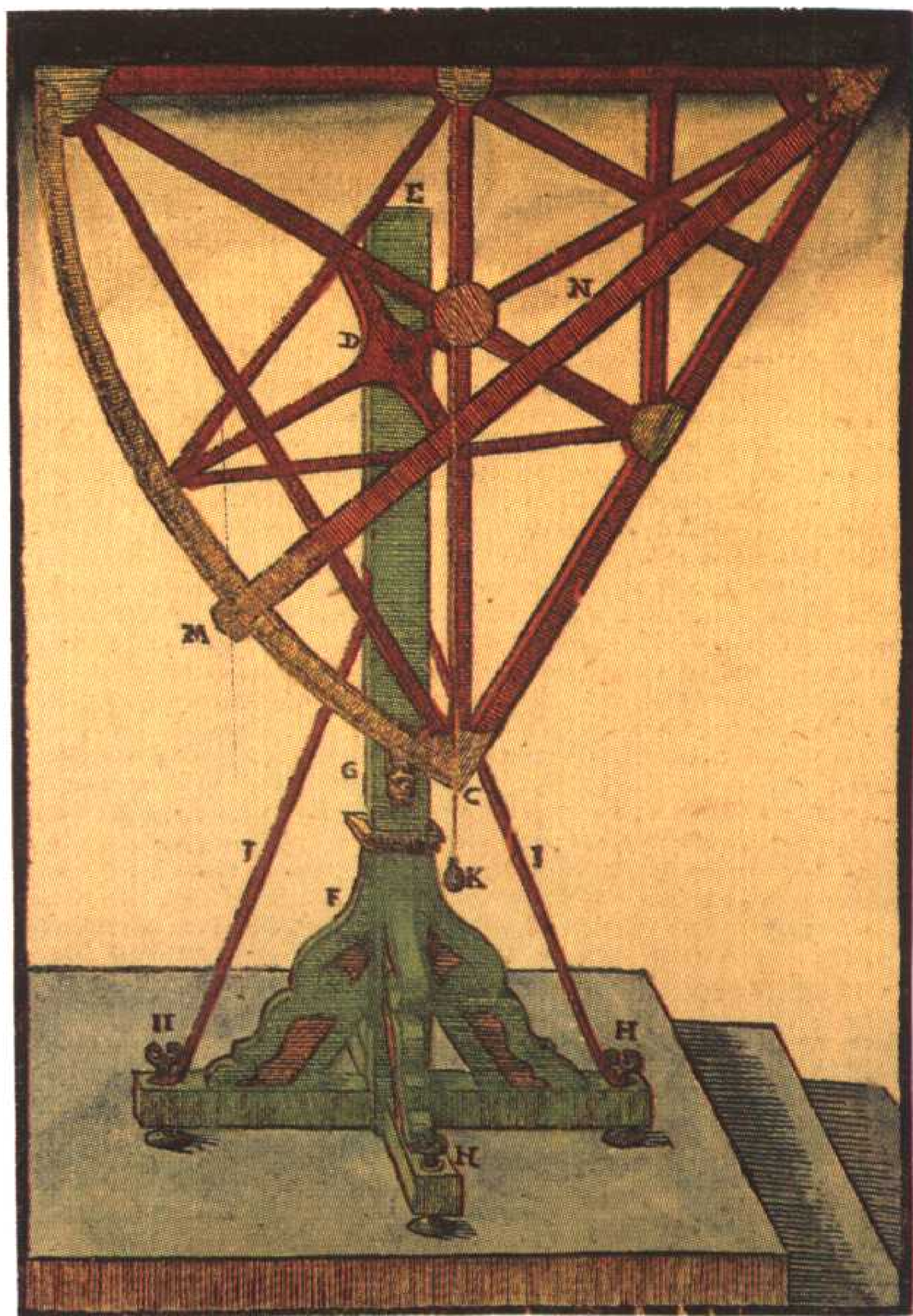
1669年时，皮卡尔阐述这次任务的目标：“……为了让此天文台所进行的研究，足以媲美第谷·布

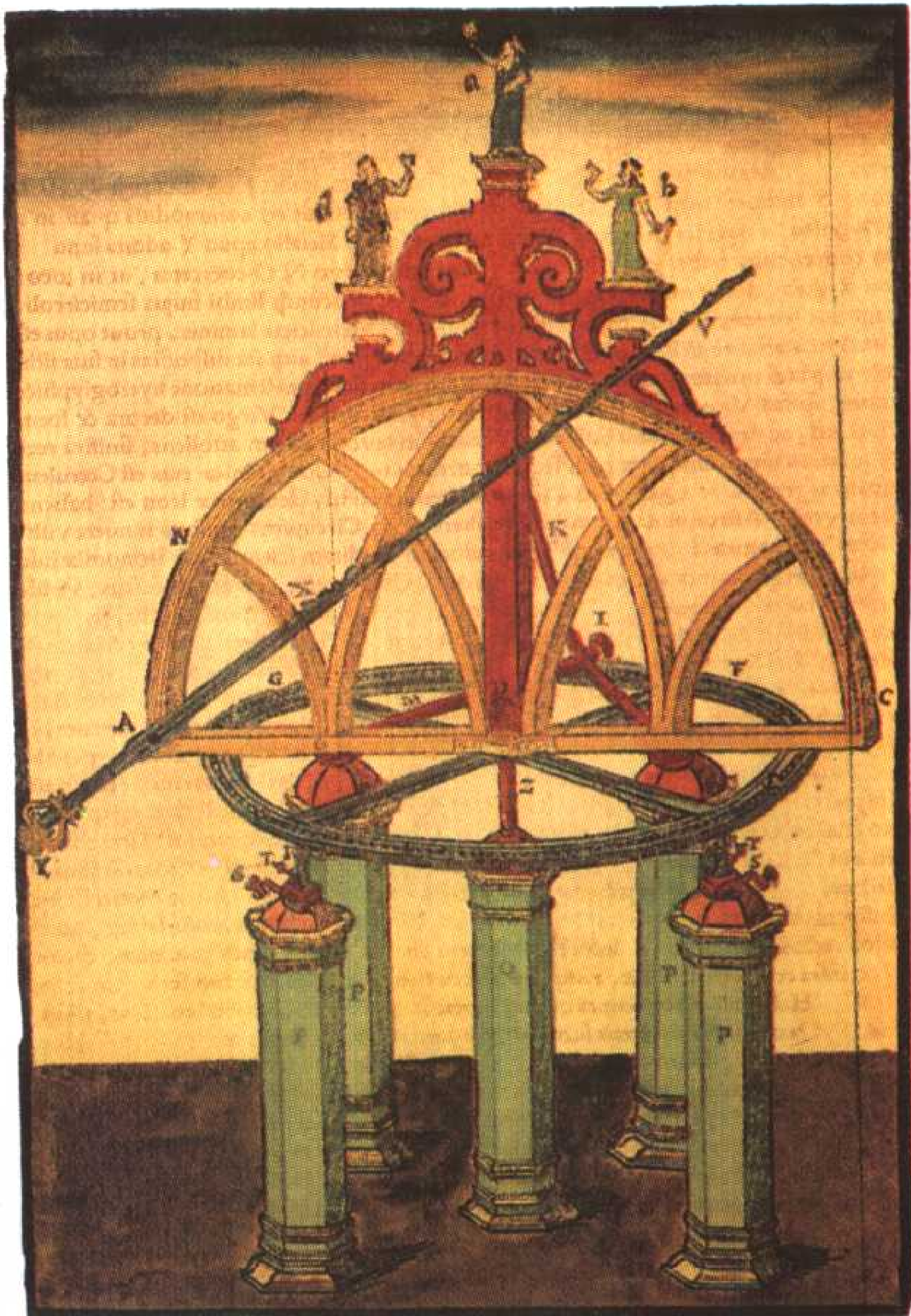


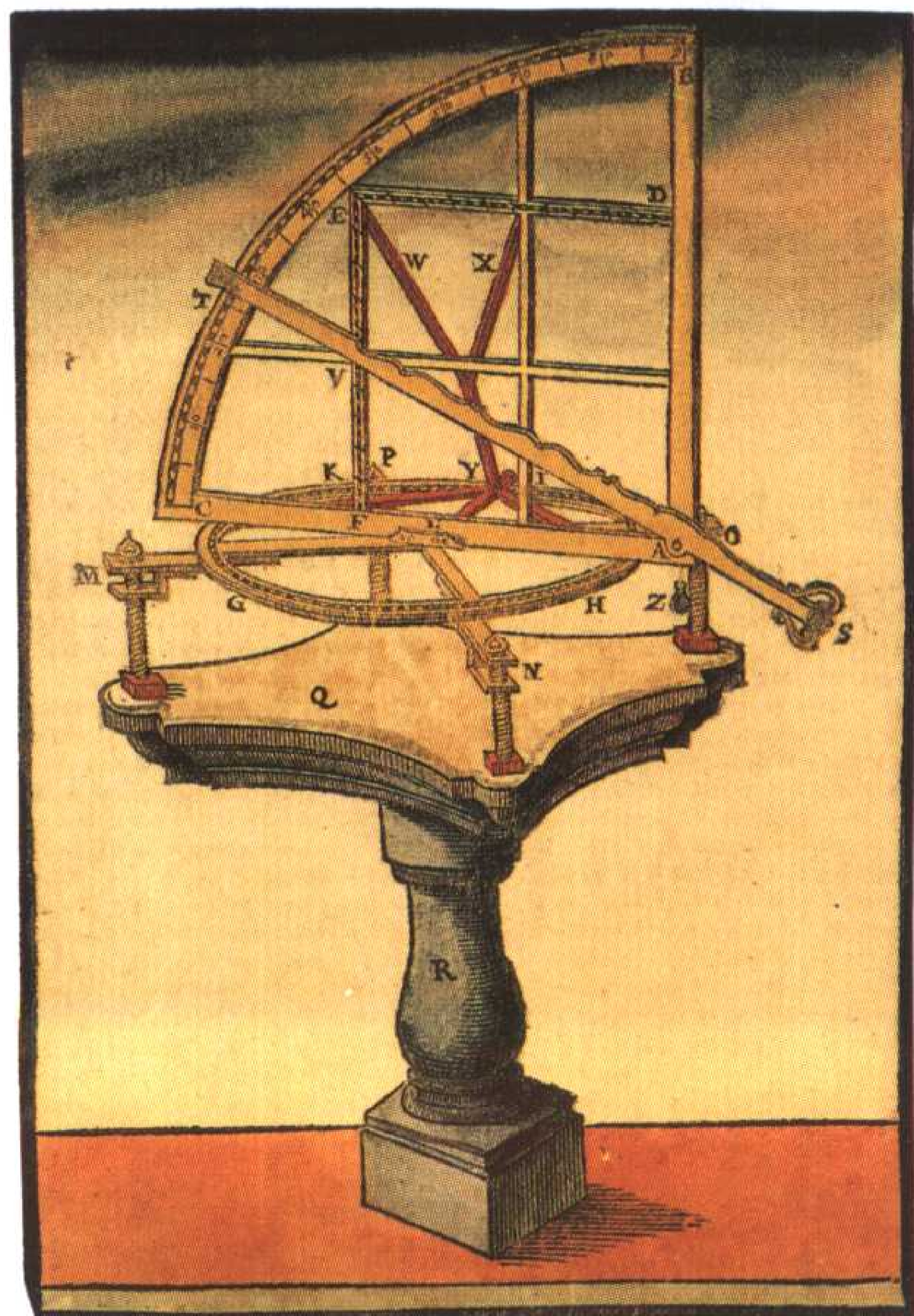
拉赫的成绩。再者，如果要拿巴黎子午线来取代乌拉尼堡（Uraniborg）子午线，则势必要精确测定此二子午线之经度差。为达此目的，又当先获得这两处所得之有关木星卫星的资料。所以，不论是想比较两者仪器的优劣，或是观测所得的可信度，总该先重测乌拉尼堡所处的子午线之极高度吧！”

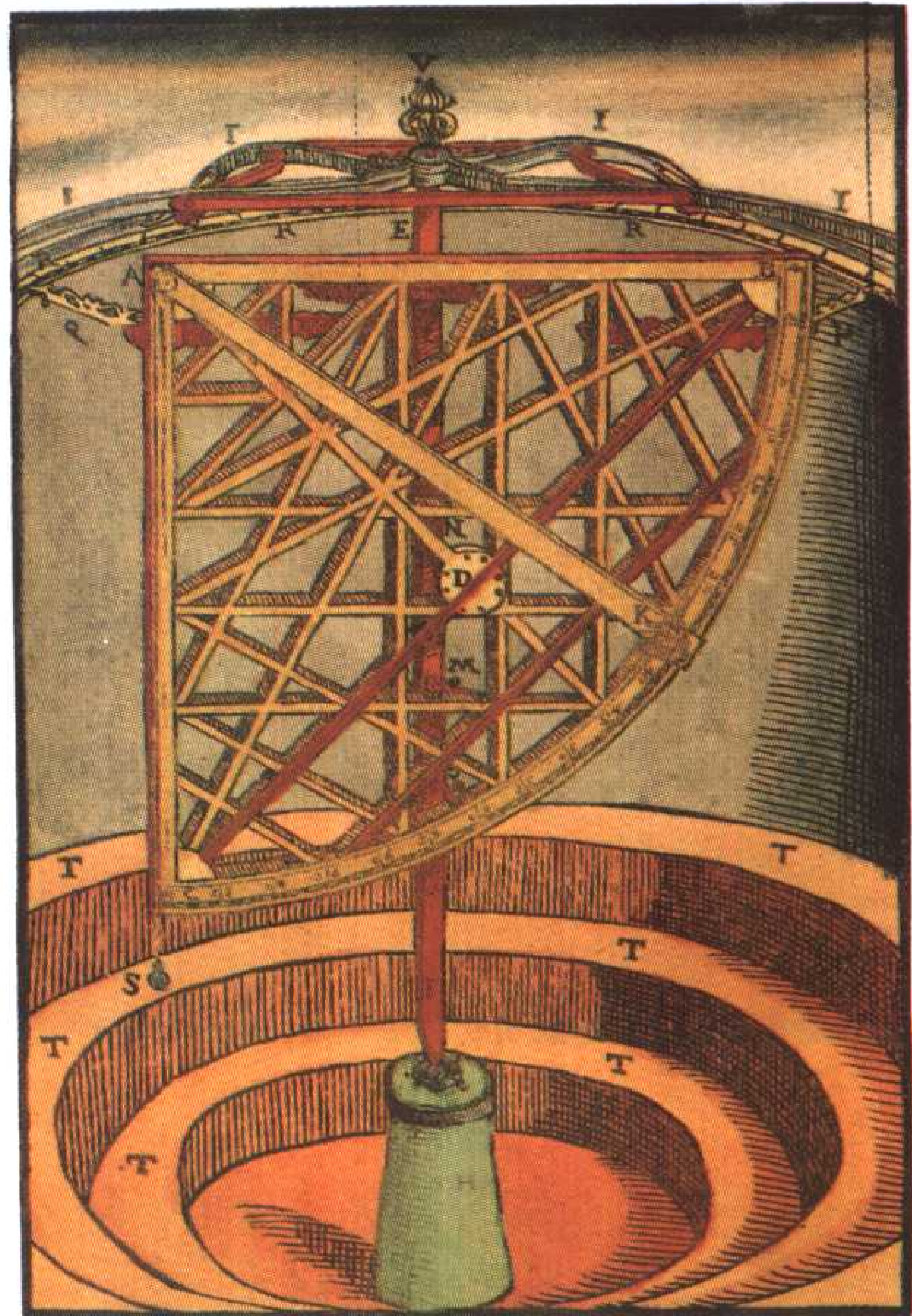
第谷的观测是开普勒定律的基础；现在，巴黎的天文学家打算重新观测，做个比较，看看一百年来

第谷26岁那年发现了一颗“新”星——现代天文史上的第一颗新星（nova），声名鹊起。1577年，三十出头的第谷蒙丹麦国王青睐，赐下一座岛，叫哈恩（Hven）。他在岛上盖了一座天文观测


E
N
D
M
G
C
K
F
H
H


a
d
b
V
N
K
X
I
G
F
A
C
Y
P
P


B
D
E
W
X
V
K
P
Y
F
O
M
G
H
Z
S
N
Q
R


V
I
I
K
E
R
A
P
N
D
M
K
T
T
T
T
T
S



移居布拉格后，第谷当上了鲁道夫二世（Rudolph Ⅱ）的御用数学家。1601年第谷去世，职务缺由助手开普勒顶了。开普勒向来仰慕第谷的才智，说第谷聪明过人，几秒钟就能想出解答。第谷死时，伽利略还没有发明出他的望远镜；第谷所用的观测器是没有镜头的。为了能精确瞄准观测物，他的观测器非常庞大。他有个仪器，半径大约有6米。第谷的仪器是固定的，而且安置在子午线的面上，以便在星体穿过子午线时能够仔细观察。自从望远镜发明以后，这些比较小巧的、方便携带的器材，同样能达到第谷仪器的精确程度。左页图里，左上是测量纬度的六分仪；右上是半球仪；左下是四分仪，又叫象限仪；右下是另一种四分仪。

现象，因此就能比较这两地的当地时间差，也能确定两地的经度差。皮卡尔为了观察木星卫星的掩蔽，除了测量子午线的仪器之外，他还带了三架装有测微器的望远镜。1671 年 6 月，他前往丹麦。

第谷 1577 年所弃置的天文台，现在只剩下基柱了，但是皮卡尔仍然打算重建安放仪器的场地。他得到一位年轻的丹麦天文学家罗埃（Olaus Roemer）的帮助，完成了任务。

这位罗埃才能卓越，皮卡尔对他印象深刻。于是，皮卡尔再带他到巴黎，想办法让他当上王子的天文学老师，也把他引荐给法兰西科学院。

用测量地球的方法，来度量到太阳的距离

事实上，这时候的人知道地球到月亮的距离是多少；公元前 3 世纪时，亚里斯塔克（Aristarchus）测量出来了。只要知道各行星轨道的形状和相关大小，那么，无论何时都可以推算出行星间的相对距离，不过，从来没有人算出任两个行星的距离。

总之，可以用一个正确的比例，把太阳系以图表现出来。但比例尺是多少仍属未知。想要知道这一点其实也不难，只要测出任何两行星的距离，其他距离便可一一推算出来。

首先，要测量出地球到另一个行星的距离，这行星离地球愈近愈好。已知火星每 15 或 16 年就会接近地球一次，那时火星到地球的距离，差不多是地球到太阳的距离的三分之一。根据预测，1672 年会出现火星近地球，该如何善用良机呢？

为了在某个特定



的时刻，计算出地球与火星间的距离，必须选定地表上相距很远的两点，在这两处同时观测火星，算出（相对星星）这两个瞄准方向间的夹角。已知即使在最好的条件下，这个角度仍然远小于1分弧(minute d'arc)。这次测量必须要非常精确，并且观察点之间，也一定要相距非常远。

皮卡尔有两个宝贝仪器：一个四分仪，可以调成水平或垂直的方向，用来校准参考星体的位置；一个扇形的仪器，张开的角度不大，但两端的半径很长，用来测出星体对水平线上星星的位置。

1671年，里歇动身前往法属圭亚那的卡宴。两年后，成绩超过预期

他是第一位在赤道附近进行精密观测的人。在赤道附近，太阳高挂天空，观察太阳的运动时，最不受大气的干扰。



里歇这次考察的主要目的，是测量地球与火星间的距离，最后确实也圆满完成任务；但里歇稍晚才得知这个消息。在巴黎的卡契尼，一收到里歇的来信，就马上计算出来了：两条瞄准线（巴黎到火星和卡宴到火星）的夹角将近23秒弧。定出卡宴(Cayenne)的坐标方位后，便得出此刻地球与火星间的距离：稍小于5,000万千米。这相当于地球到太阳间距离的八分之三。

太阳到地球的距离，平均约1亿5千万千米，这数字比当时的人所猜想的，大上20倍！

另外，里歇在调定计时器时，意外地发现，同一个单摆在卡宴比在巴黎摆动得慢！1682年，由卡契

1669年的卡宴地图；北方在下，南方在上。画家眼中的卡宴有另种风情。





尼派到佛德角群岛和安地列斯群岛的考察团，证实了里歇这个发现。后来，牛顿的万有引力理论激起争论，这发现也扮演着重要角色。但在发挥影响力之前，里歇的测量引出难以预料的反应。



OBSERVATIONS
ASTRONOMIQUES
ET PHYSIQUES
FAITES
EN L'ISLE
DE CAÏENNE.

里歇带着一套重要器材，领了一支很棒的队伍，在卡宴待了两年。他们累积了不少资料。后来里歇把自己天文学的观察整理成书，就叫《天文观察》。

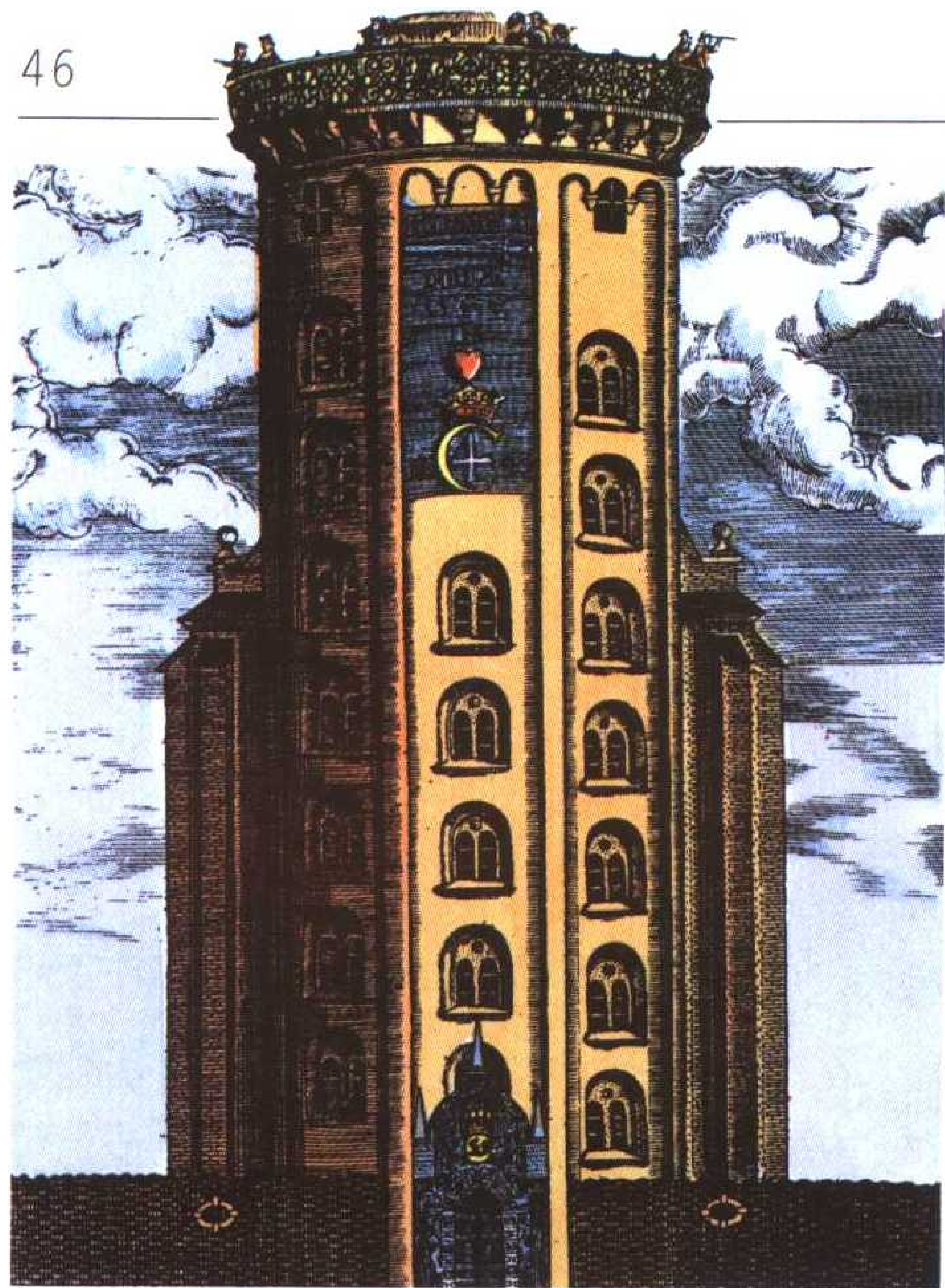
知道了太阳与地球间的距离，罗埃测量出光速

那时候，大家还不能确定，光速究竟是有限的（这时候称为“接序的移动”），或者是瞬间的移动。这问题连伽利略也无法回答，不过，从他以前用灯所做的测量至少知道：如果光速是有限的，也必定是非常快的。若想算出光的速度，就得测量出很短的时间间隔，或者探求光在极长距离中的移动，这其实是所谓的天文学距离。

罗埃在天文台安顿好之后，就开始研究木星卫星的图表。他发现，由木星卫星引起的掩蔽现象，在观察结果和依数学计算所得的推测两者之间，并不完全吻合，反而有周期性的不规律。

原来以为，这些掩蔽现象的出现间隔是有规律的，所以推算出它们可能会出现的时间。然而，在每年里有 6 个月（当地球接近木星时），木卫掩的出现，会比依理论计算出来的结果超前；在另外 6 个月中（当地球与木星渐渐远离时）却会延后。超前和延后的时间，最大的差距约是 16 分钟。

罗埃这才了解，他每次记录下的时刻，不真正是木卫掩出现的时刻，而是从地球上看到木卫掩的时刻。





如果光从木星来到地球，需要一定的时间，那么这两个时刻之间就有延迟，而这个延迟，随着两行星间的距离改变，也会有变化。

当地球位在太阳和木星之间时，光穿过这两颗行星的距离，比当地球和木星同在太阳的一侧时要短。短多少？大约短了一个地球的直径；而里歇已经测量出来，地球直径约3亿千米。所以，这16分钟，也就是这1,000秒内，光速是每秒钟300千米。

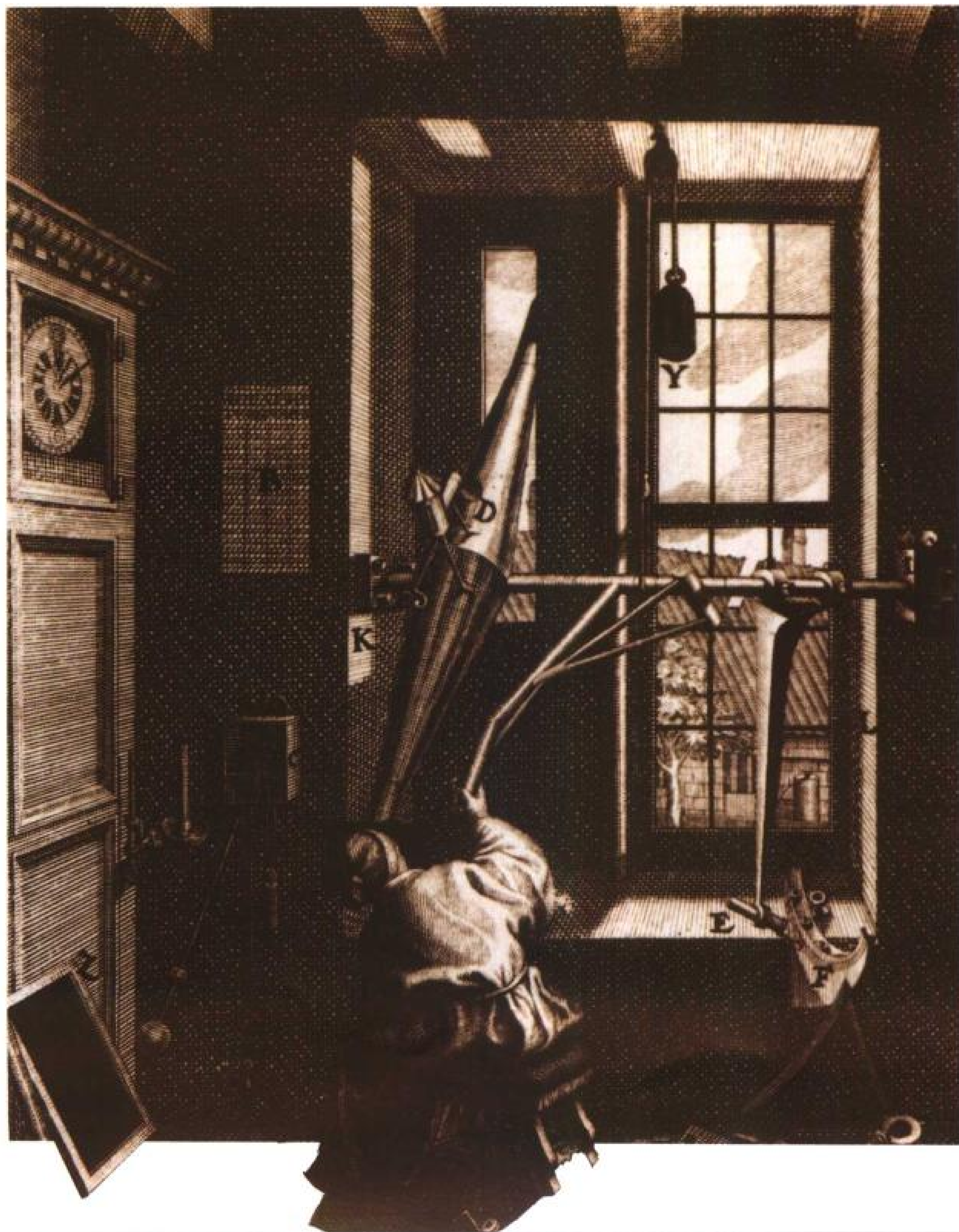
不过，罗埃受限于各种因素，他算出来的是20万千米；这当然是不准确的。不过这无关紧要，至少他确定了一件事：光是一种“接序的移动”。

伽利略无法用他的灯解答问题，其实一点也不奇怪。他测量的距离只不过几十千米，光穿过这样一段距离只要几十万分之一秒的时间。尽管伽利略没能测出光速，倒还是别有贡献；罗埃就是从伽利

罗埃，丹麦人，1644年生。把第谷的书编订出版的工作人员里，有一个就是罗埃。后来，皮卡尔打算去一趟乌拉尼堡观测台，罗埃也跟去了。回来后，皮卡尔偕罗埃到巴黎，两人开始一起工作，改良了几种仪器。罗埃回到丹麦，调整了自己的仪器，其中一个是右页图里的子午线望远镜。

略的研究出发,开始思索问题的。此外,也是伽利略发现了木星卫星,并开始追踪记录这些卫星的掩蔽。

罗埃在 1675 年公布了他的成果。八年前,法国科学家才在“大观角”那块空地上,划出了一条子午线。巴黎的天文学家果真是懂得掌握时机!





"同时,我要告诉你们一种新望远镜,
是由剑桥大学的数学教授,牛顿先生所发明的。
我现在能说的不多,只知道在我们这儿
检验时,有这么个六寸长的反射望远镜……"
大约在 1672 年 1 月,惠更斯从皇家学会的秘书
写给学会的信上,晓得了牛顿这个人。

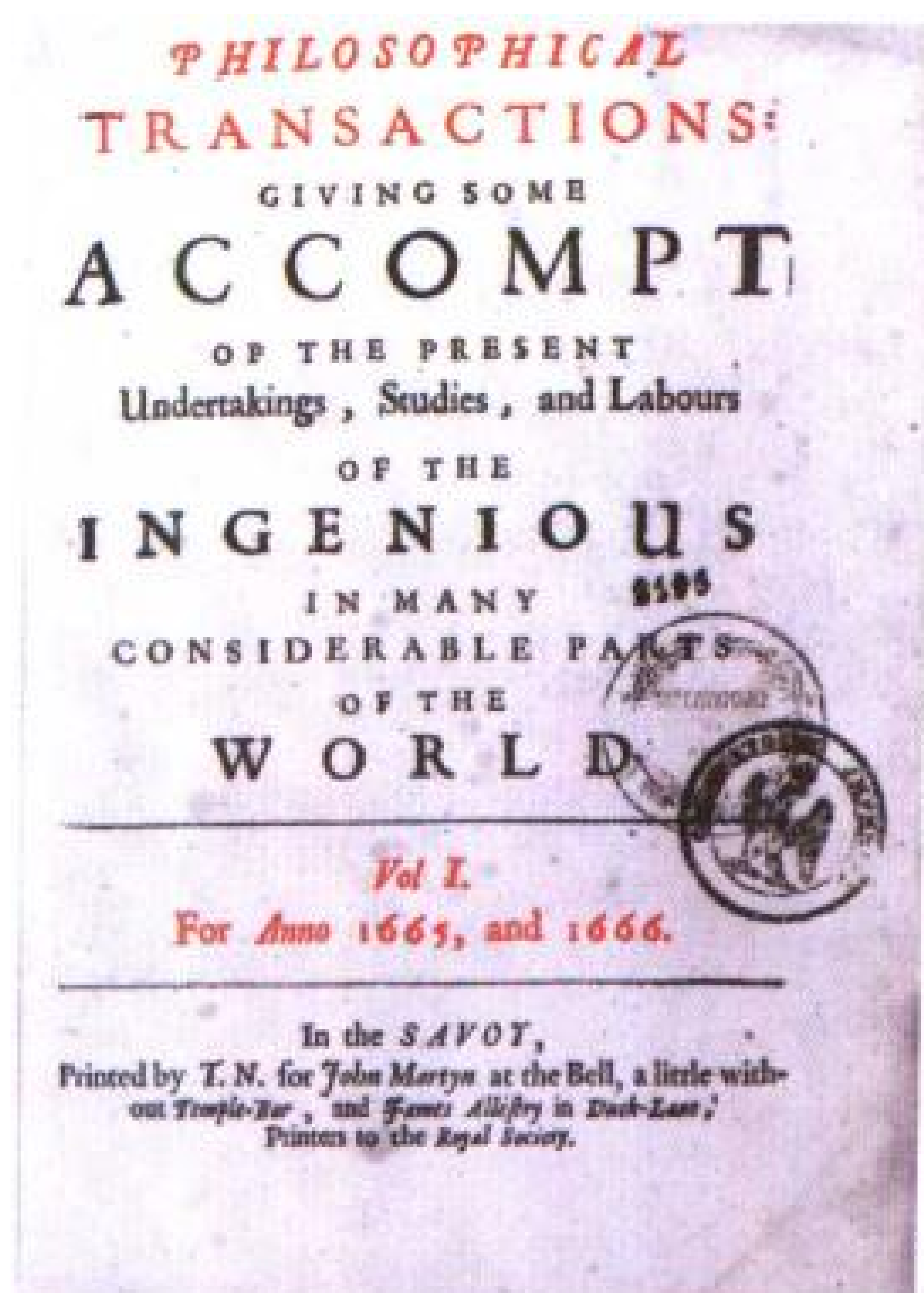


第三章

从反射望远镜到万有引力

经过了一场内战,一次瘟疫,和一场烧毁了半座城市的大火,伦敦从灰烬中重建。这时候是1667年。

奥登堡(Henry Oldenburg)是皇家学会秘书，与数十国的科学家保持联系。负责与奥登堡通信的人当中，惠更斯无疑是最有名的。


PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS: GIVING SOME ACCOMPT OF THE PRESENT Undertakings, Studies, and Labours OF THE INGENIOUS IN MANY CONSIDERABLE PARTS OF THE WORLD

Vol I.
For Anno 1665, and 1666.

In the SAVOY,
Printed by T. N. for John Martyn at the Bell, a little without Temple-Bar, and James Allestry in Duck-Lane; Printers to the Royal Society.

渐渐地，科学家愈来愈多，科学期刊也问世了：1664 年《皇家学会哲学会报》创刊；1665 年《哲人学报》问世。于是，行之多年的通信方式便逐渐废弃。不过，奥登堡还是忙。

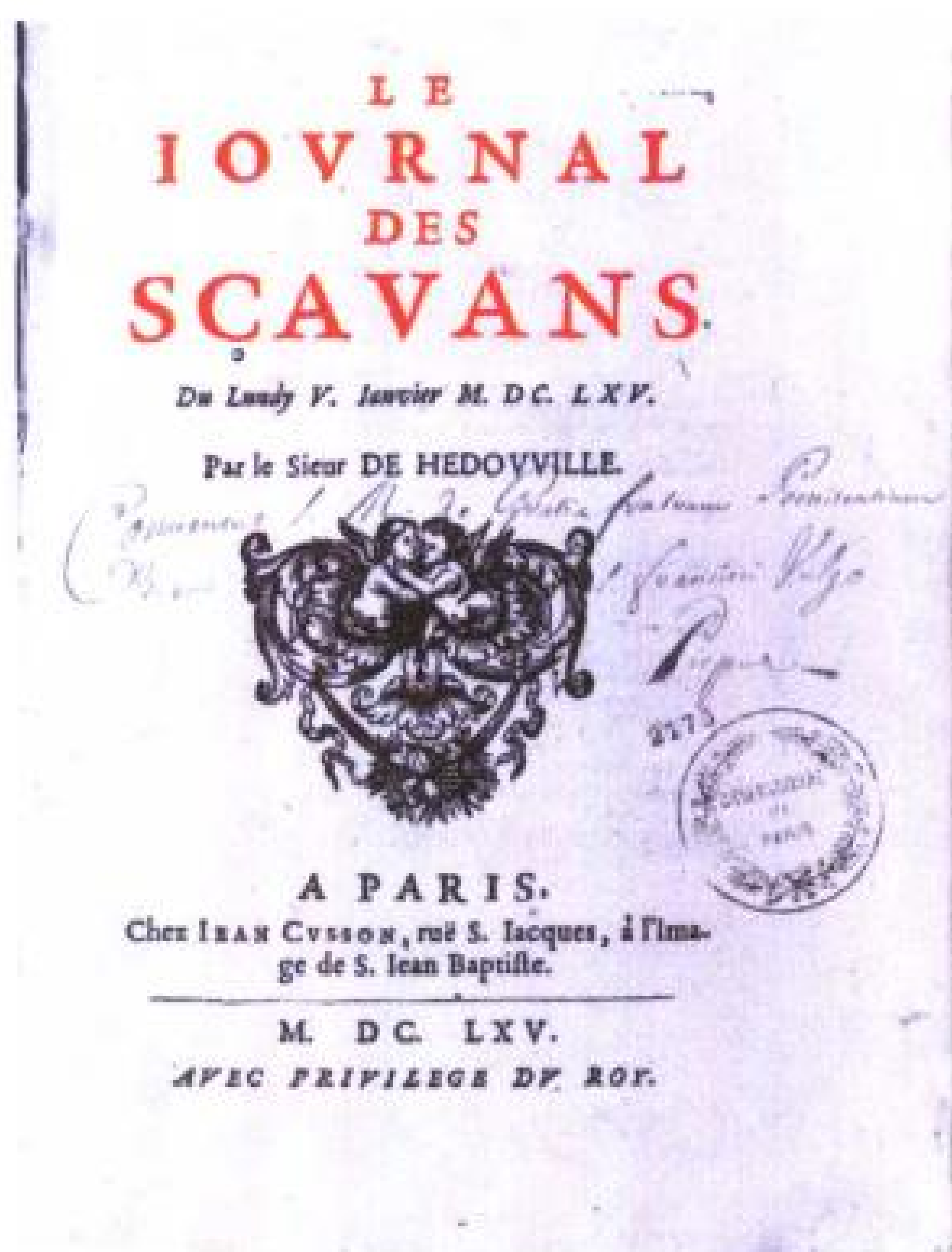
奥登堡参加了《哲学会报》的编辑工作，从1664年的第一期开始，一直到1667年6月的最后一期。但是，私人间的书信来往仍然很重要。科学刊物和科学家之

间的信件,可以把讯息传播开来,让大家知道新发现,也可以用来“核准”一项发现,承认新发现的结果,宣布此发现应当属于谁的“成绩”。

1671年,《哲学会报》宣布了牛顿那两架望远镜的事。公布之前一年多,牛顿就把望远镜交给皇家学会了。

1669年秋季,剑桥有一位德高望重的数学教授打算退休了,他推荐牛顿来接替自己的职务缺

牛顿这时只有27岁,在计算上小有成就,所以得到推荐。他研究出来的光和颜


LE
IOVRNAL
DES
SÇAVANS.
Du Lundy V. Ianvier M. DC. LXV.
Par le Sieur DE HEDOVVILLE.
A PARIS,
Chez IEAN CVSSON, ruë S. Iacques, à l'Image de S. Iean Baptiste.
M. DC. LXV.
AVEC PRIVILEGE DV ROY.

最早的两份科学期刊,大约同时出现:《皇家学会哲学会报》在伦敦创刊,几个月以后,《哲人学报》在巴黎问世。

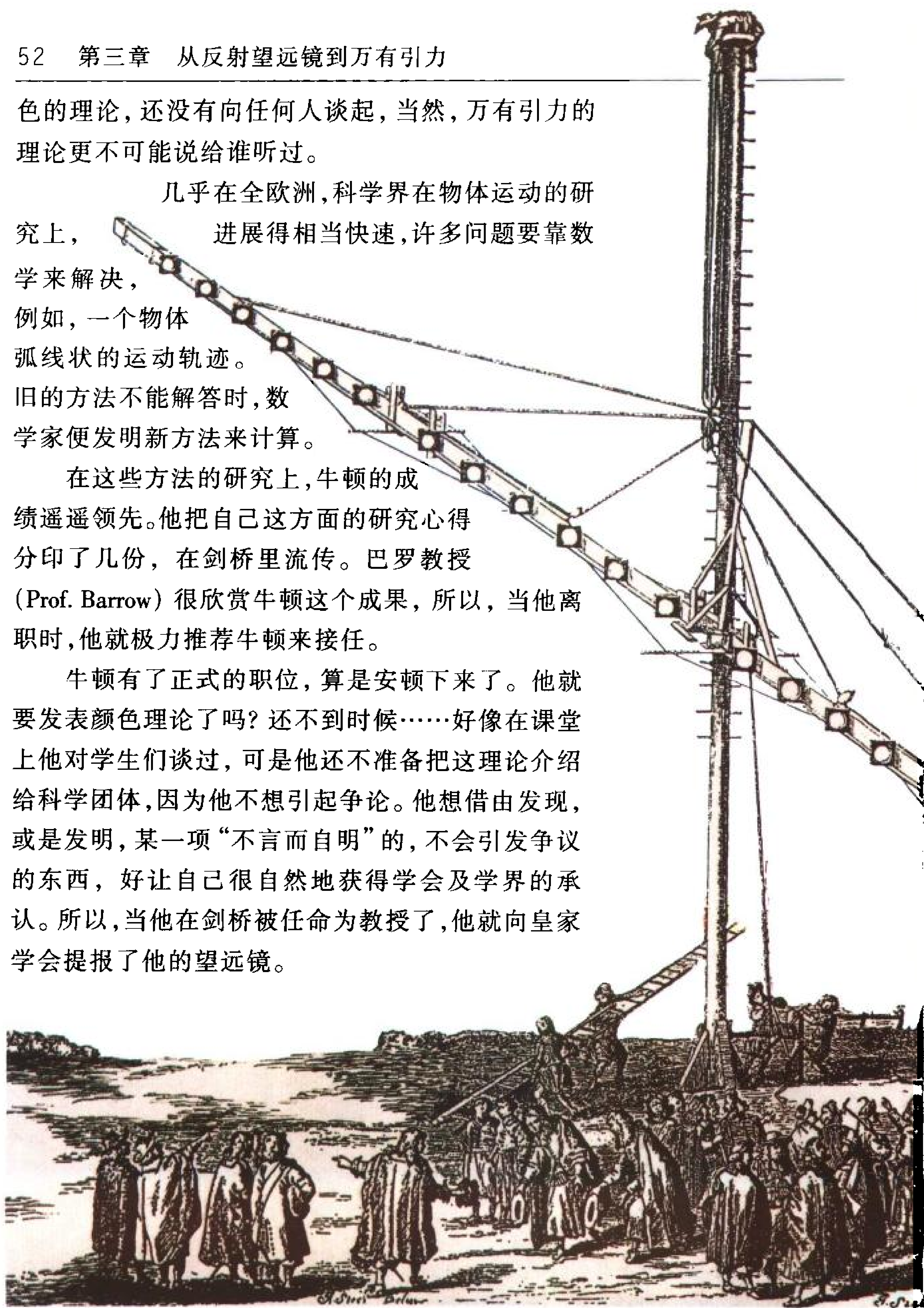
剑桥大学1690年时的景象:仿佛修道院的建筑物相连成四方形,旁边有几排整齐而朴素的宿舍,四周尽是草地和花园,缓坡那头便是康河了。三百多年后,景象仍无二致。

色的理论，还没有向任何人谈起，当然，万有引力的理论更不可能说给谁听过。

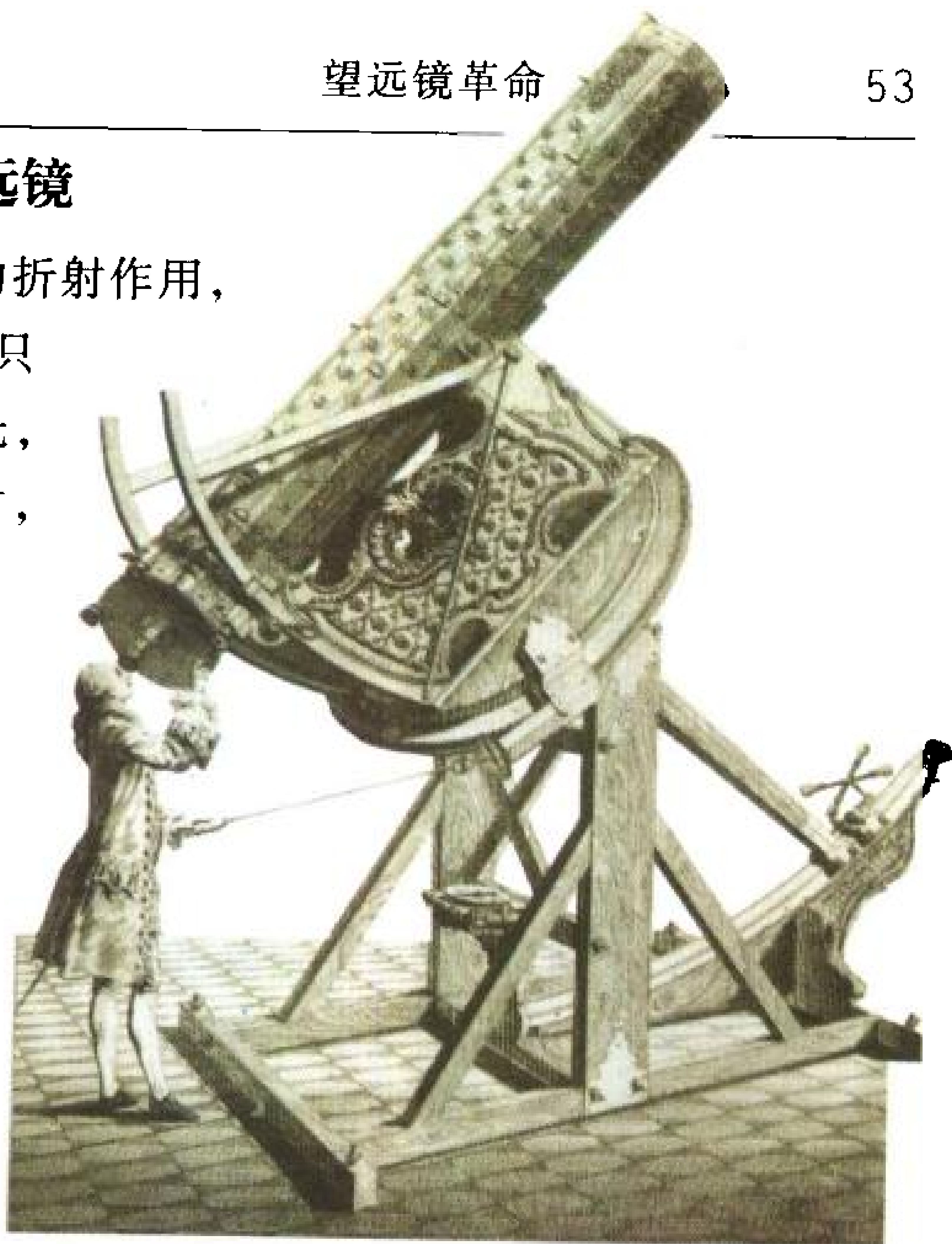
几乎在全欧洲，科学界在物体运动的研究上，进展得相当快速，许多问题要靠数学来解决，例如，一个物体弧线状的运动轨迹。旧的方法不能解答时，数学家便发明新方法来计算。

在这些方法的研究上，牛顿的成绩遥遥领先。他把自己这方面的研究心得分印了几份，在剑桥里流传。巴罗教授(Prof. Barrow)很欣赏牛顿这个成果，所以，当他离职时，他就极力推荐牛顿来接任。

牛顿有了正式的职位，算是安顿下来了。他就要发表颜色理论了吗？还不到时候……好像在课堂上他对学生们谈过，可是他还不准备把这理论介绍给科学团体，因为他不想引起争论。他想借由发现，或是发明，某一项“不言而自明”的，不会引发争议的东西，好让自己很自然地获得学会及学界的承认。所以，当他在剑桥被任命为教授了，他就向皇家学会提报了他的望远镜。



牛顿制造了第一架反射望远镜

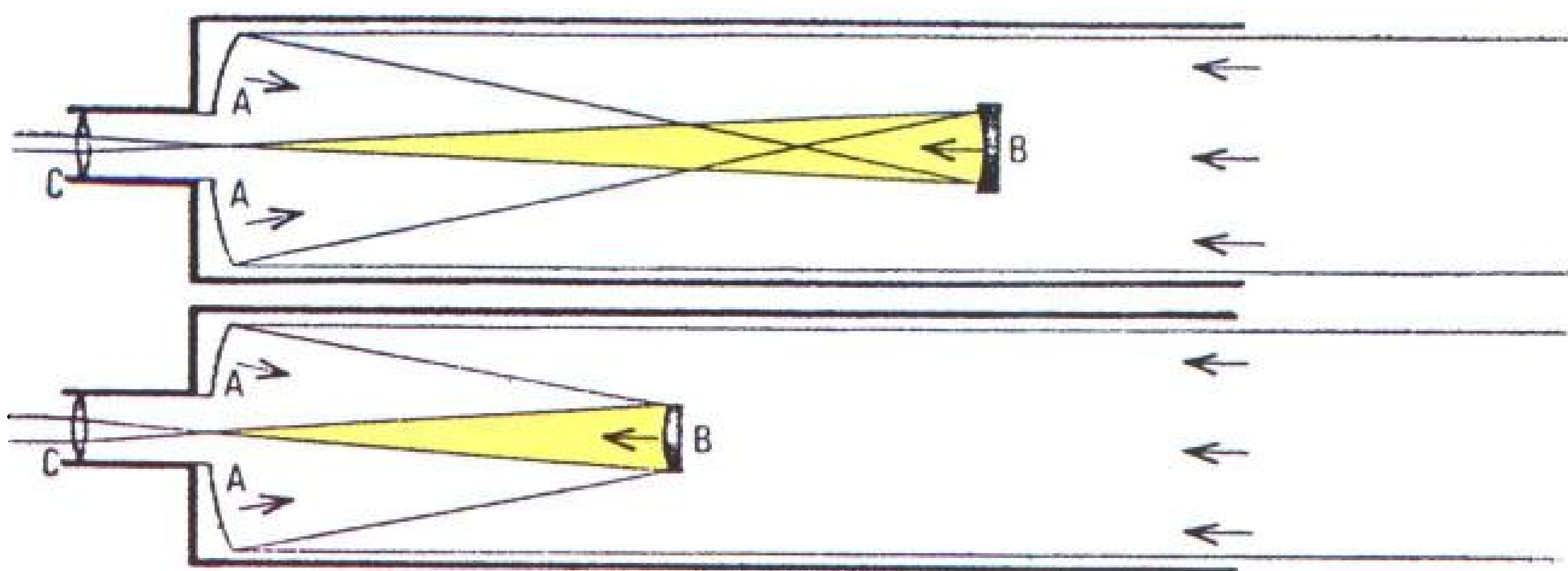


牛顿已证明，由于棱镜的折射作用，才造成各种颜色的光。光不是只在透过棱镜时才会折射出色光，每当光透过一块玻璃的表面时，都会发生这种现象——特别是穿过透镜时。望远镜的镜头上，在所成的物像周围，总是有一圈晕开的虹纹(色差)。后来，有人提出一种方法：把两块不同玻璃的透镜结合在一起，认为这样即使不能完全消除物像周围的色晕，至少也可减少色晕，使它可忽略不计。但牛顿认为这是不可能的。他要寻找一种根本的解决：不要透镜！用反射望远镜来代替折射望远镜。反射的镜面，不会使颜色产生偏差，例如镜子。

使用反射望远镜有个问题。由于物体要在镜子之前成像，那么，观测者就得把



卡赛格林式望远镜（上图）的放大率，和赫维留望远镜（左图）一样高，但是所成的像比较稳定、明亮，而镜身也比较容易操纵。这两架望远镜都很大——要造得大的原因，主要是为了提高放大的能力；不过也有别的因素。一个望远镜的折射镜头愈长，偏差就愈小。这在形成彩色影像时尤其明显。1670年左右，折射望远镜还没有发明，无色差的镜头也还没有问世，为了避免偏差，望远镜也就造得很大。



头放在镜筒前才看得到物像；这么一来，就会阻挡光线进入镜筒。若要解决这问题，必须设法使物像直接从镜筒出来。因此，各式各样的解决方式纷纷出笼。

英国天文学家格雷果里 (James Gregory)，以及法国科学家卡赛格林 (Guillaume Cassegrain) 都曾经提议，在镜筒内再放一面镜子，这样就能把从主镜上会聚过来的光，再从主镜中心的小孔反射出去。格雷果里认为，这第二面镜子应该要是椭圆型的；卡赛格林则说应是双曲线型的。以当时的制造技术来说，这两种镜子都还造不出来。

牛顿不这样想。他认为，应该要让光束从旁边反射到筒壁上，若要达到这目的，只需把一块很小的平面镜放在镜筒轴上，倾斜 45 度角就可以了。

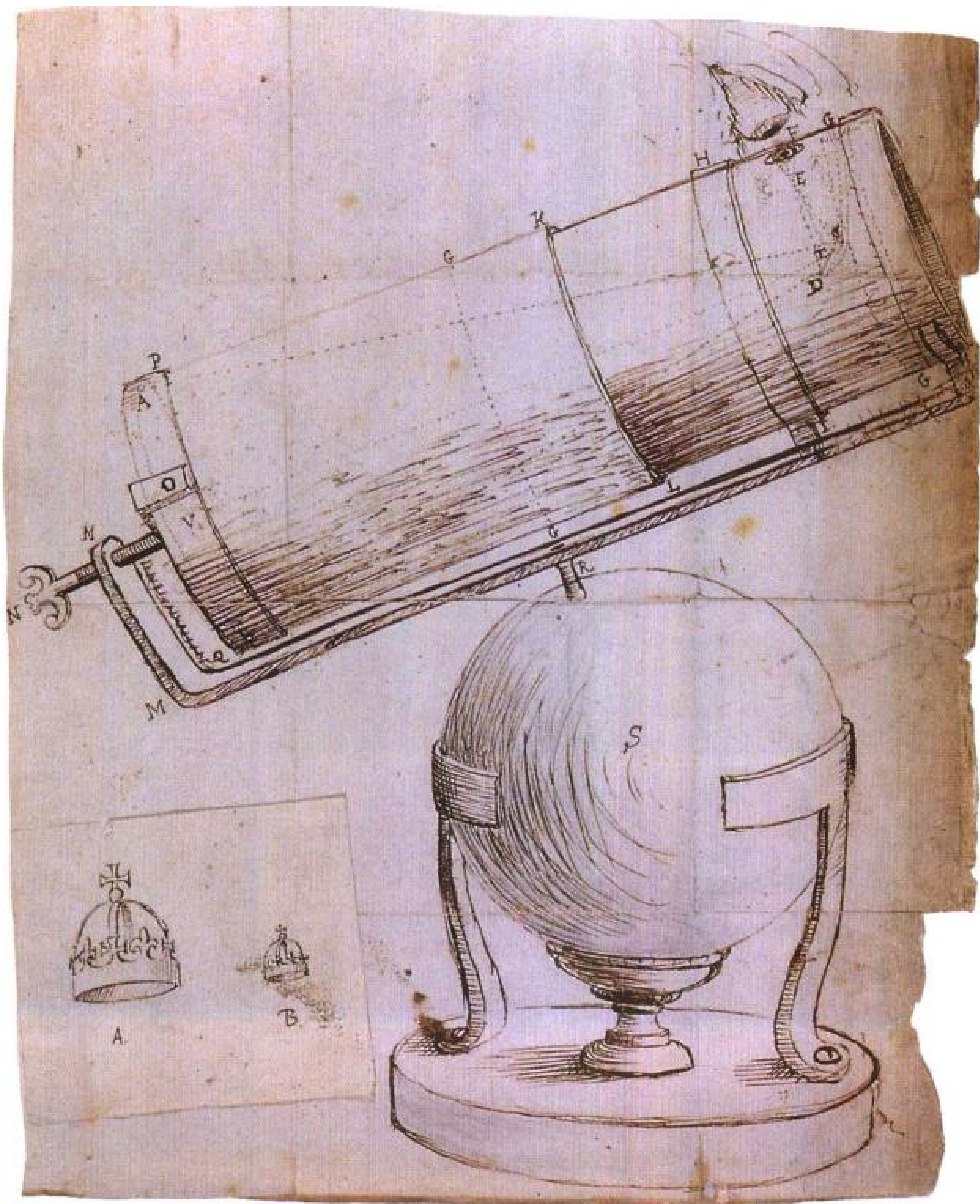
今天，专业人士用的大型反射望远镜，是属于卡赛格林型的；而大部分业余爱好者用的反射望远镜，特别是自行制造的，都是借用牛顿的概念。

不过，牛顿在把想法付诸实现时，仍碰到很大的困难。首先，镜子是金属的，金属不易磨光但容易失去光泽。其次，这面主镜应该是抛物线型的，而当时的技术只能做出球型的，球型镜面造成的物像偏差不大，但足以使物像模糊，一般称这为“球面像差”。

牛顿那时代，折射望远镜还只在纸上谈兵。上图是格雷果里式折射望远镜的原理图；下图则是卡赛格林式的图。这两型所需要的小曲面镜，以那时候的技术来说，是非常困难的。牛顿的仪器最引人注意的地方，是它们的小巧。仪器愈小巧，在操作时就愈不容易震动。在物体成像时，镜身震动往往造成物像框边晃动，以致影像不清楚。所以，物像能不能稳定而清晰，比把物体放大还要重要。牛顿设计的仪器（右页图），底座有一个球状的基座，然后以金属的支架与镜身连接，如此一来，镜筒可以朝任何方向瞄准。

然而，牛顿还是克服了困难，制造出一副反射望远镜，全长只有20厘米。正因为这副镜非常小巧玲珑，所以它格外有吸引力。皇家学会发表了牛顿的论文，用的是拉丁文，当时欧洲的国际语言。没多久，牛顿的反射望远镜就成为欧洲的热门话题。

聚焦成像的方法，是旋转镜筒底侧的螺丝，以调整物镜和镜筒的后半部分。





奥登堡义不容辞当信使，把惠更斯、奥祖、福兰斯蒂德(John Flamsteed)、赫维留(Johannes Hévélius)、格雷戈里等人的意见和问题，一五一十转告牛顿，并把牛顿的回覆转达给这些人。一夕之间，牛顿的名字传遍全欧洲，科学界对他刮目相看。

1672年1月11日，牛顿当选为皇家学会的会员。

1672 年 2 月，牛顿终于公布了光和色的理论

在给奥登堡的一封长信里，他真的提到了这个

颜色的理论。这封长信就发表在随后一期的《哲学会报》。信一开始，牛顿先提他买棱镜，以及在百叶窗上凿洞的经过，然后才细细描述这个“决定性的实验”。他接着力陈，反射望远镜是不可缺少的仪器。他还列举了自己许多实验，反覆论证这些是可以重复的实验，以此来证明这理论的圆满。

奥登堡收到这信的早上，恰好是皇家学会要举行大会的日子。于是，原来的会程改成宣读牛顿这封重要的信。接着，大家根据牛顿的理论提出评论和意见。与会众人鼓掌喝采不停，并且推选出三个人，请这三人重复作一次牛顿的实验，只要他们能重复做出牛顿所描述的实验，就马上发表这封信。

推选出来的三名成员中，有两位是皇家学会的首席物理学家：波耳（Robert Boyle）和霍克（Robert Hooke）。霍克发表过光的波动理论概述。

牛顿在信中强调，他的光和色的理论没有依据任何光的理论，不是波动理论也非粒子性质。然而，他内心比较赞同光的粒子性质说。也就因为这样，所以霍克一方面说牛顿的实验很有意思，一方面却不采纳牛顿的解释。霍克在报告结尾说，如果牛顿能提出一个决定性的论证，他倒是很乐意被说服。

眼看麻烦即将登场

原本这麻烦还不难解决，可是，奥登堡一直就对霍克怀恨在心，忍不住火上浇油。于是，牛顿用一种很傲慢的语气来回敬霍克。从此，两个人成了死对头。牛顿压根儿不想拿这事

1667之后的五年，牛顿致力研究光与色的现象，希望能找到更好的证据，以支持他的理论。牛顿的颜色理论确实激起了一些怀疑，但都不算什么真正强烈的反对。

莱布尼兹是哲学家，兼治历史和神学，同时还是个数学高手。他和牛顿都发展出微积分，也各自应用在计算上。莱布尼兹的微积分后来在欧洲各国通用。





件当个契机，顺便提出他的万有引力理论；他反而发誓，说他今后再也不会发表任何东西。他蛰居剑桥三一学院自己的城堡里，过着隐士般的生活。

然而牛顿声名犹在，即使隐居古堡了，也还是会惹人臆测：到底为了什么，牛顿竟然如此缄默？

从牛顿给奥登堡的信——又是他——大家才知道，其实他也和人发生过争论。以前，鼎鼎大名的德国数学家莱布尼兹，与牛顿为了微积分争论过，因为两人都发展出微积分计算法，只是方法不同罢了。

同时，牛顿还是公开谈论反射望远镜的效能，

格林威治天文台俯瞰泰晤士河河口。在天文学的研究成果上，格林威治天文台很难与巴黎天文台相较量；在海事研究上，则是格林威治领先。由于一条本初子午线通过格林威治天文台，所以，格林威治时间（Greenwich Mean Time，G.M.T.）成为全世界的参考时间。





特别常与惠更斯讨论。可是惠更斯和霍克一样，也在研究光的波动理论，他甚至比霍克还要有心得。所以，3月里，奥登堡正式把牛顿的颜色理论通知他时，惠更斯便装聋作哑，只针对反射望远镜提出回应。

不过，惠更斯与牛顿的关系仍然算友好。1673年，惠更斯把自己有关单摆的力学的论文寄给牛顿，而牛顿回信向他表示感谢，也让他了解自己关于曲线弧研究的工作现况。

牛顿这封回给惠更斯的信，产生了意想不到的效果：这封回信间接促进了牛顿和一个科学家的交情。这人是牛顿认为最值得信任的人。此人不仅说服了牛

福兰斯蒂德向查理二世建言，鼓吹兴建“皇家格林威治天文台”。后来天文台果然成立，而福兰斯蒂德上任台长。福兰斯蒂德在台长任内，为天文台设置了许多仪器，也在地图绘制学上有贡献。不过，他个人为后世所纪念的，是他的星星目录，罗列了将近三千颗星星。这是现代天文学的第一本星星目录。



顿，公开宣布万有引力的理论，甚至监督了后来的出版事宜。他是哈雷（Edmund Halley）。

哈雷的母校牛津大学，景致充满了田园情调。马达兰学院（Magdalen College）的塔楼，今日依然巍峨，一如往昔——不过，可能比较不容易在校园附近看到母牛了。

活力充沛的哈雷，与孤僻的牛顿仿佛来自两个截然不同的世界

哈雷比牛顿小14岁，但声名不在牛顿之下，不过，哈雷只在天文学领域内钻研。他的研究事业能开展，说来也很有意思。

法国的路易十四下令建造了天文台，英国国王为了不落人后，1675年时建立了格林威治天文台，任命福兰斯蒂德为“皇家天文学家”。福兰斯蒂德这时正在编写星星目录。

1676年，热衷于天文学的哈雷，得到一位既富有而且学识又渊博的神父的鼓励，就中断在牛津的学业，打算到圣·赫勒拿岛（Sainte-Hélène）过个两年。20岁的哈雷，想在这非洲西岸大西洋里的岛上，编制出南半球星星的目录。这时候北半球的人，对南半球的星空仍很陌生。

另外，哈雷也觉察到，单摆在圣·赫勒拿岛比在欧洲时摆动得慢。1678年

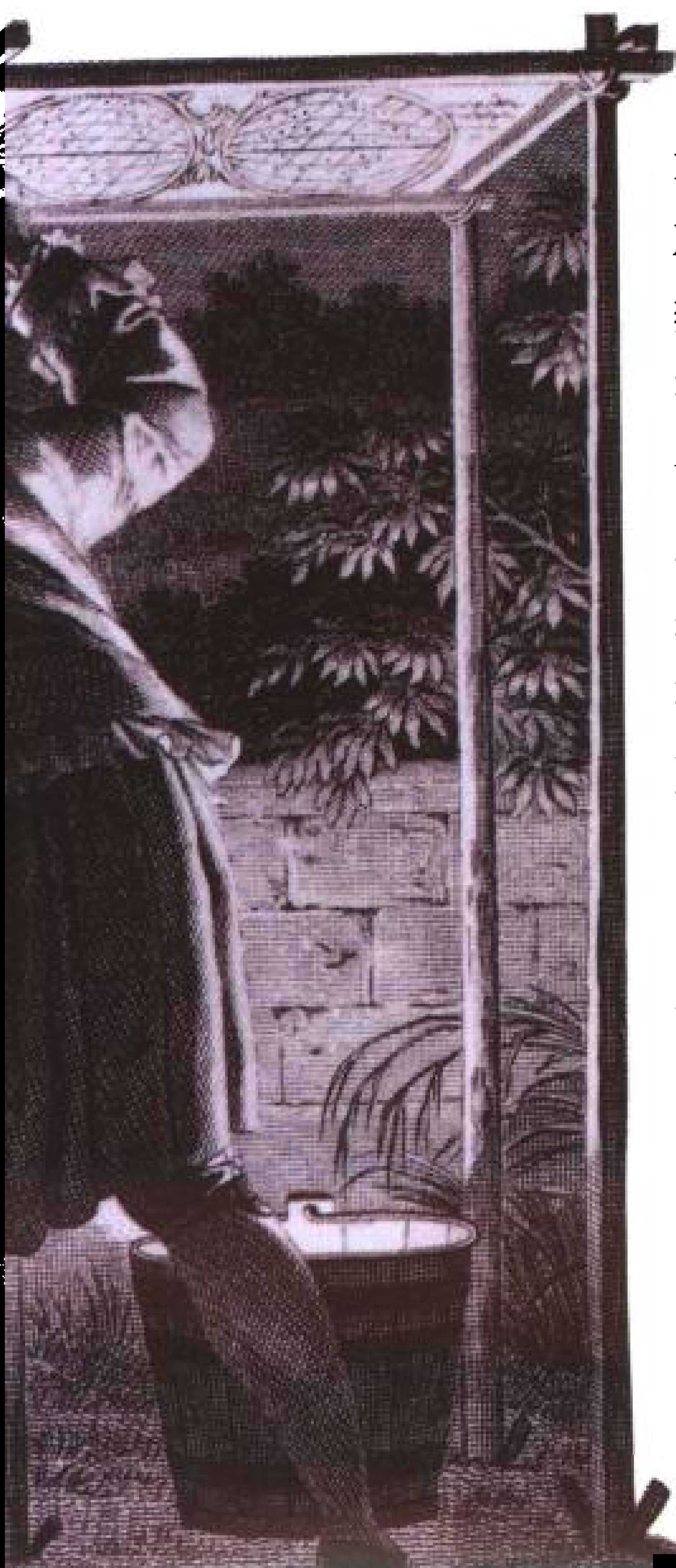
回到英国后，哈雷通过了他的考试，并马上被选进皇家学会，当时他才 22 岁。

他年纪还很轻，但已展露潜力，足以担当大任。他奉学会之命，到波兰的但泽 (Danzig) 去，调解赫维留和霍克的纷争。1680 和 81 两年，哈雷到法国和意大利旅行，见过了卡契尼和其他同行。他把这些人关于 1680 年彗星的观测，拿来与自己的观察作了比较。有人推测，彗星又要来了。

绘制星图的人，每晚辛勤观察。他先要仰天观星，然后要低头记录——在照明之下，把星星的资料记下来。眼睛在黑暗的天空和明亮的桌面间来回，每一次都要花几分钟才能适应。唯一的对策，是让桌面的照明尽可能不要太亮。看来，一个装了炭块的小炉子是很好的选择：既能发出不那么刺眼的红光，又能发出热，让在凌晨的室外工作的观星者，得到温暖。

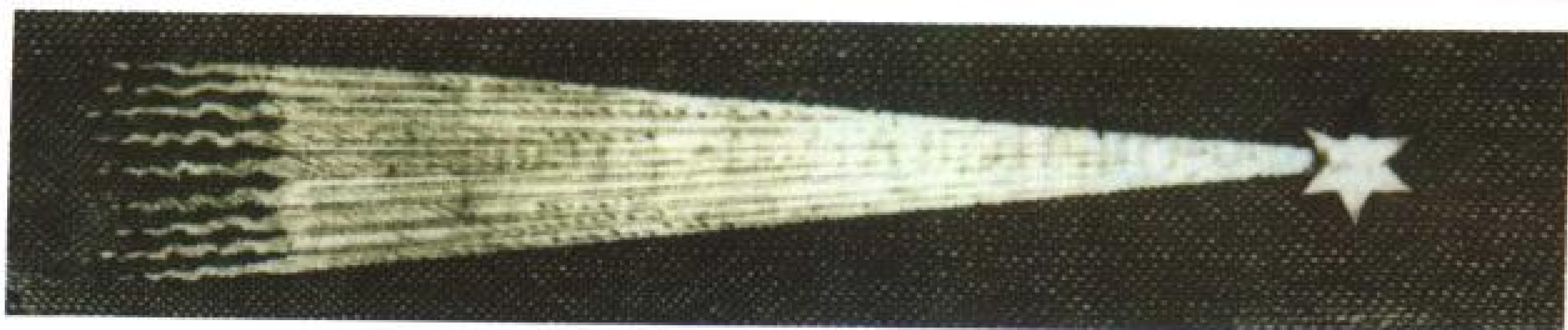
1680 和 1682 年各有一次很壮观的彗星

引发了天体力学的问题，其实，1664 年出现过彗星，那时就已经引得许多人好奇，想知道天体如何运行。每年都有好多彗星，但大部分难以察觉，除非使用高级的精密仪器。自从 1618 年出现一颗明亮的彗星之后，一直到 1664 年，才又出现一颗——值得等待的一颗：在六周之内用肉眼可以清楚辨识，好几个月内都可以用简陋的仪器观察。全欧洲的天文学家，日以继夜研究：奥祖在法国，卡契尼在罗马，惠更斯在荷兰，赫维留在但泽，霍克在英国。那时还只是学生的牛顿，在笔记里也谈到它。



各种有关彗星的议论





和疑问之中，关于它运动路径的猜测最是热闹。彗星的轨道是像第谷所说的那样，圆形的？或是如开普勒所以为的，是直线呢？开普勒认为，彗星看来是以曲线的方式运动，其实这是由于地球环绕太阳旋转的关系。1664年的彗星，既回答了这个轨道问题，也提出新的问题。第一，它的轨道确实是曲线的。赫维留说，它可能是椭圆的。其次，第一次有人想像，这个轨道可能是封闭的，也就是说，同一颗彗星在一定的时间间隔内会重新出现。

法国天文学家珀蒂(Pierre Petit)，1665年发表了关于彗星特性的论文。他在文中推测，1664年那颗彗星，很可能是和1618年的同一颗。霍克在1665年3月里，一次彗星的报告会上似乎颇为赞同。1664年这颗彗星还有别的历史意义：促成巴黎天文台创建。这很可能是一颗“逆行”彗星，它绕太阳旋转的方向，和其他行星或卫星相反，也与笛卡尔所提出的“涡动”方向完全相反。如此一来，天体究竟是如何运动的，就更引人思索了。

大学时代的牛顿，在记事本中谈起过这颗彗星。这颗彗星和苹果一样重要，都促使牛

多少年以来，在人类眼中，彗星是带噩兆的天象。彗星会带来灾难，所以，人类把它画成骇人的蛇、火苗、利剑的形状。人类认为，天空是一块大黑板，神灵会在板上留下讯息。由于彗星总是突然出现，所以老被当作是天降的紧急信号，预示了即将来临的灾厄。在古代，鲜少有那一年平安无事，而总是有天灾人祸，不是干旱就是泛滥，不是饥馑就是传染病流行。所以，任何时候彗星出现了，它所“预示”的灾难通常都会应验。





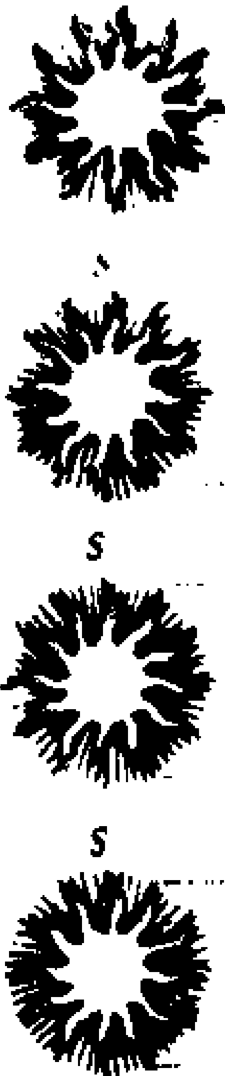
艺术家笔下的彗星现象。时间：1664年12月24日。地点：德国纽伦堡上空。

顿思考重力的本质。牛顿对彗星问题的思索，向来迥异于另外两位同行——霍克和哈雷。在20年间，这两位同行借着观察彗星，得到万有引力理论的线索。

霍克和哈雷，分别由1664和1680年的彗星看出"万有引力"，但两人的看法又不同

霍克有当时科学家的通性，研究领域非常广泛；但他还是以"力学"为研究重心。有关弹簧受力的霍克定律，就是他的贡献。或许就是因为他以力学为重，所以，他用力学的装置作为一种模型，试图说明天体间的引力。霍克用的是单摆。

单摆受到向心力的作用而运动，这和行星的运动很像；所以霍克认为，可以用单摆这个装置来描述椭圆形的轨道。如果把单摆从它的中心位置拉开，然后再让它来回摆动，那么摆由中心到两端会划出一道弧状轨迹。如果把摆挪开平衡位置后，不但松开它，

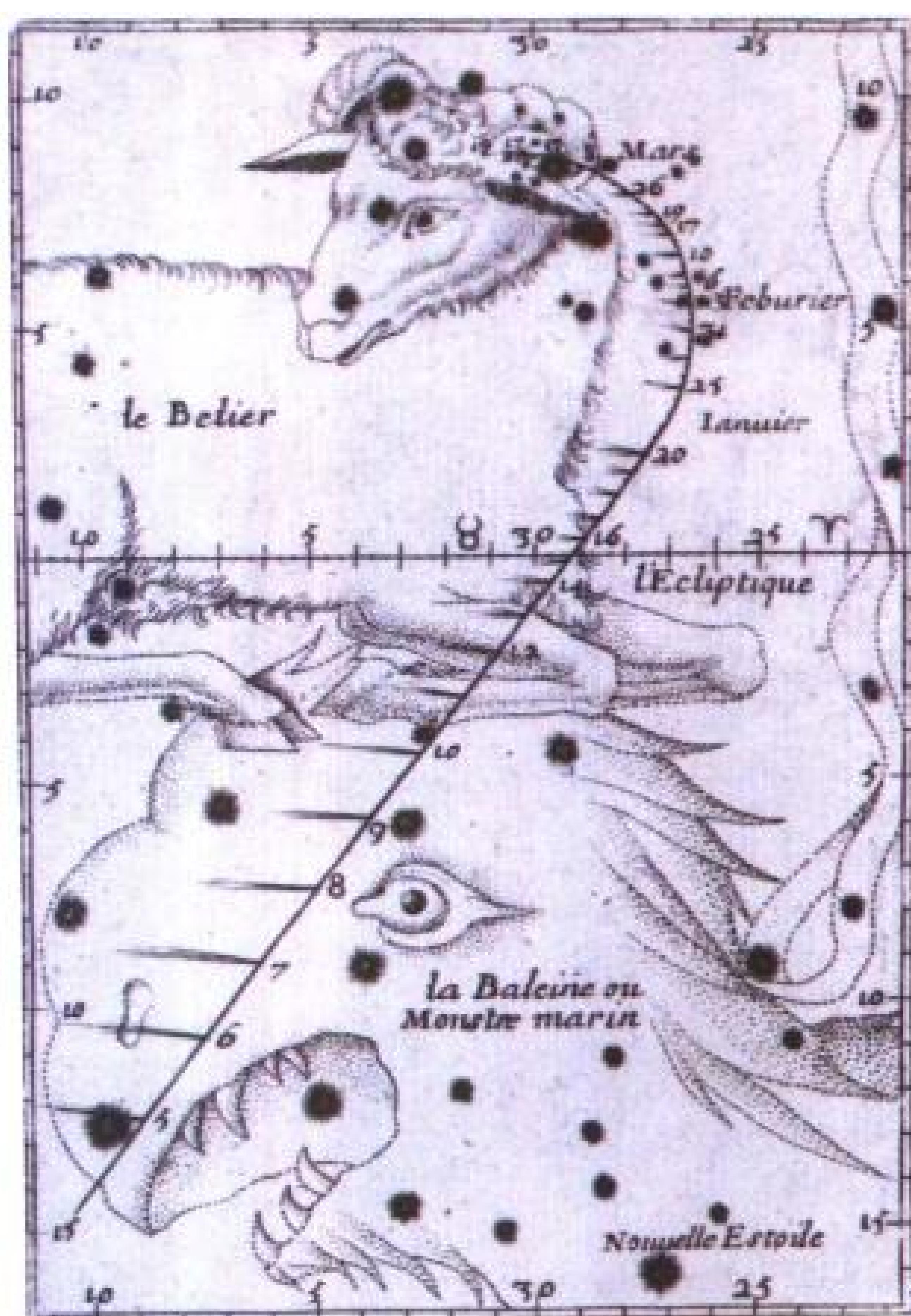


四颗由赫维留画的彗星。赫维留是但泽市的市长，也做啤酒酿造的生意。同时，他爱看星星；他的妻子受到感染，也是天文爱好者。好几种天文仪器是他发明的，而他也做了许多观察，留下不少笔记。他在彗星和土星的观察上特别有心得。

而且是用力抛出，则会得出一条近似椭圆的曲线。如果好好控制初始的冲力，它甚至可划出一个圆。

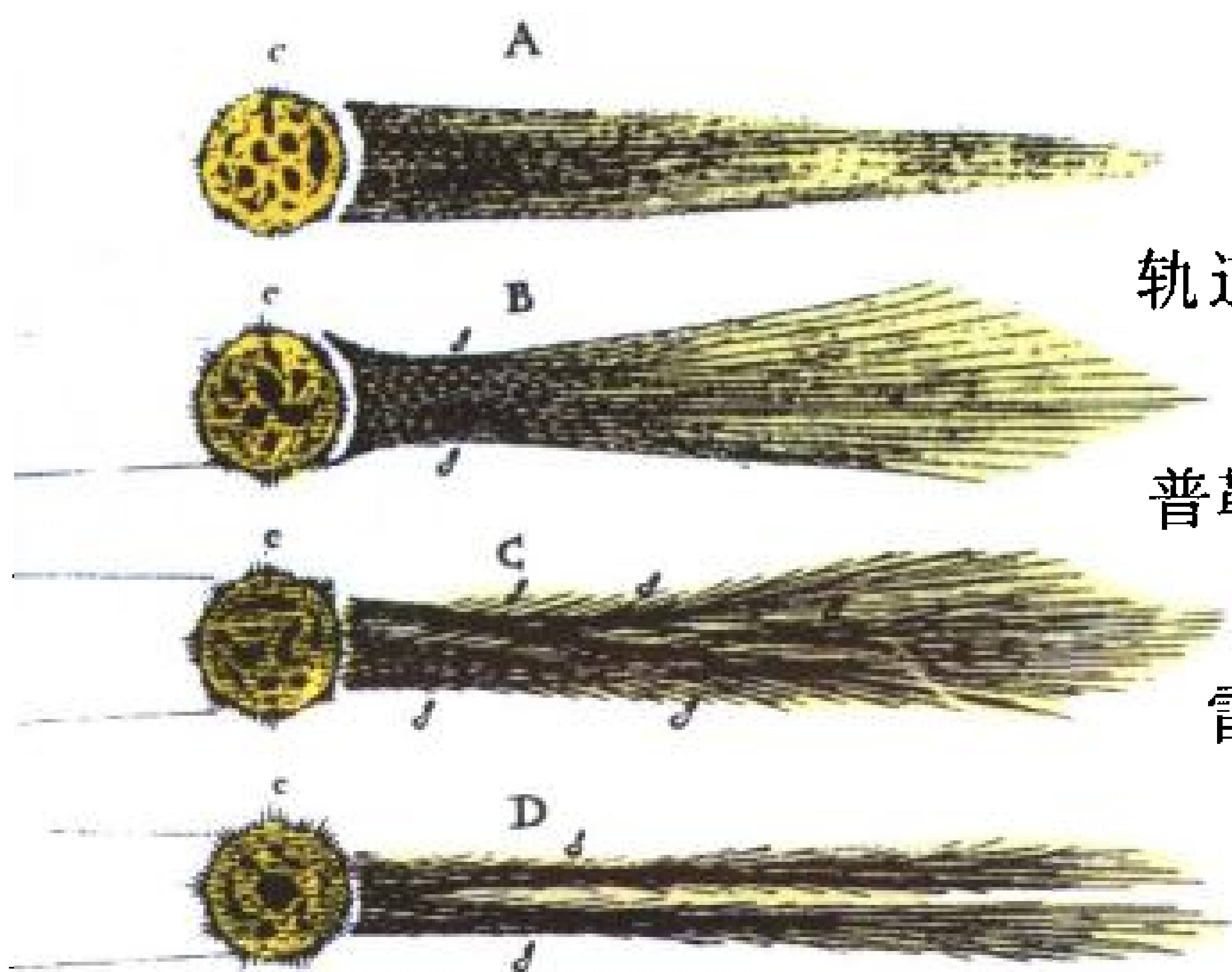
霍克非常用心研究，还和牛顿保持书信往来，但是从牛顿的回答实在看不出他的想法。

霍克的单摆模型无法提供令人满意的说法，因为“引力中心”——对单摆来说是在悬垂中心——是在椭圆中心；但是对于行星轨道而言，太阳是椭圆的一个焦点。尽管如此，霍克还是依靠此模型发展出他的引力理论：引力与距离成反比。也就是说，当一个物体位于两倍远的距离时，则它所承受的吸引力就会减少两倍。



珀蒂写了篇论文：《论彗星之性质》。他在文章里画下了彗星的运动路径（上图）。由于有前人多年来的观察，所以留下彗星相对于其他星座的运动方式，同时也提供了有关彗星大小和尾巴形状的资料。珀蒂这幅图里，只把彗星运动全程里的一部分记录下来。想用一部分的资料就推算出彗星轨道的全部情形，确实很难。

二十年后，哈雷研究彗星，也提出了引力问题。和其他天文学家一样，他也是由开普勒的第三定律开始思考。开普勒第三定律所描述的，是行星轨道大小，以及行星通过轨道所用时间的关系——直径（和太阳之间的平均距离）的立方，与周期（绕太阳一周的时间）的平方成正比。



哈雷设想行星轨道是圆形的（这不算太离谱），所以开普勒定律符合太阳对于行星的引力——哈雷认为，这引力与距离平方成反比。也就是说，一个位于



两倍远的物体，受到的吸引力就小四倍；一个位于三倍远的物体，受到的吸引力就小九倍。依此类推。

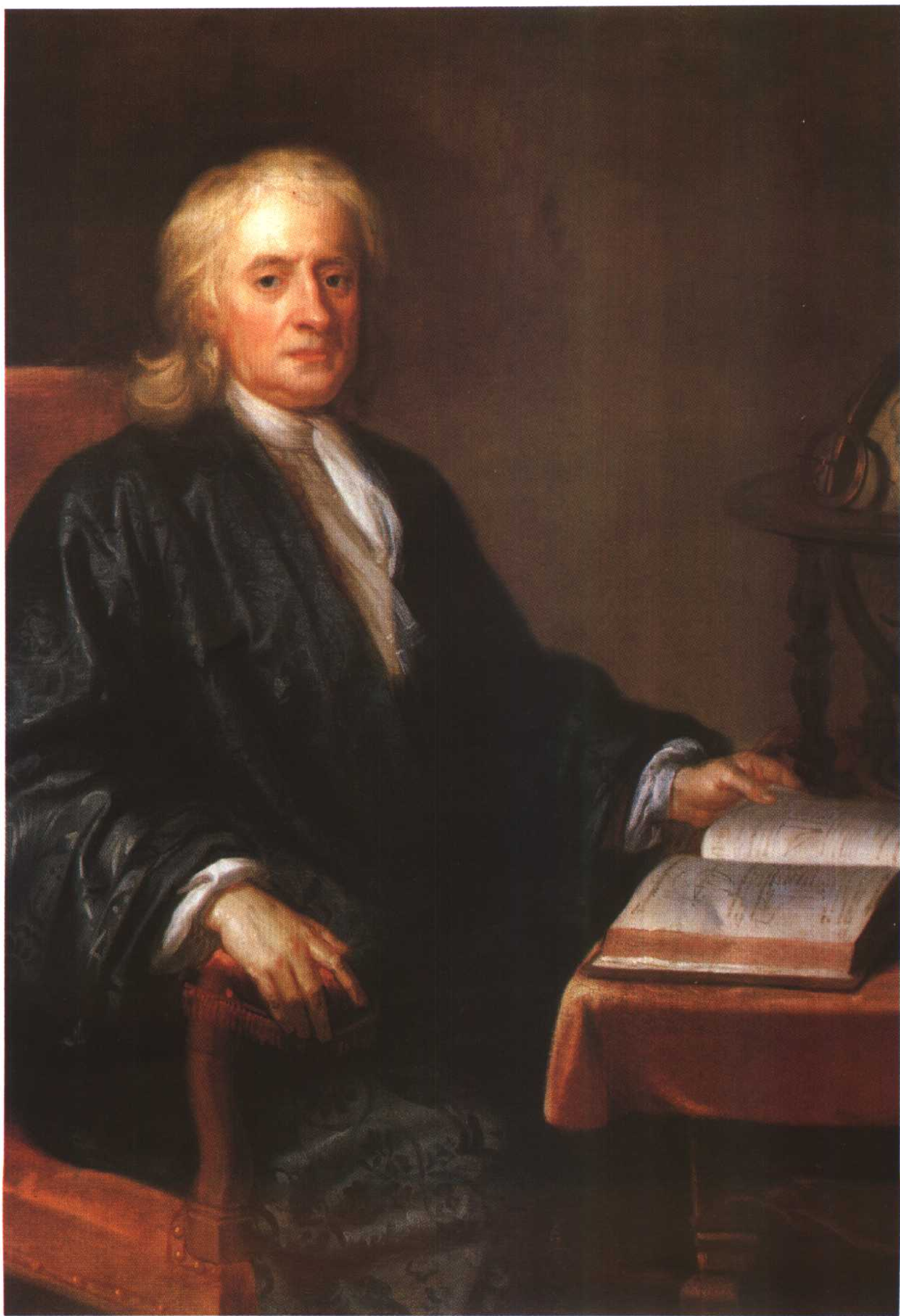
哈雷所提的引力，是否就吻合开普勒第一定律

纽伦堡1680年的彗星奇观。这幅画抓住了最激动的瞬间。



说的：行星的轨道是椭圆形的？哈雷曾试图证明，然而没有如愿。他便向霍克和其他同行请教，也无济于事。最后，在1684年8月，哈雷决定去找牛顿。

再怎么明亮耀眼，彗星的光芒毕竟无法照亮全部的夜空。

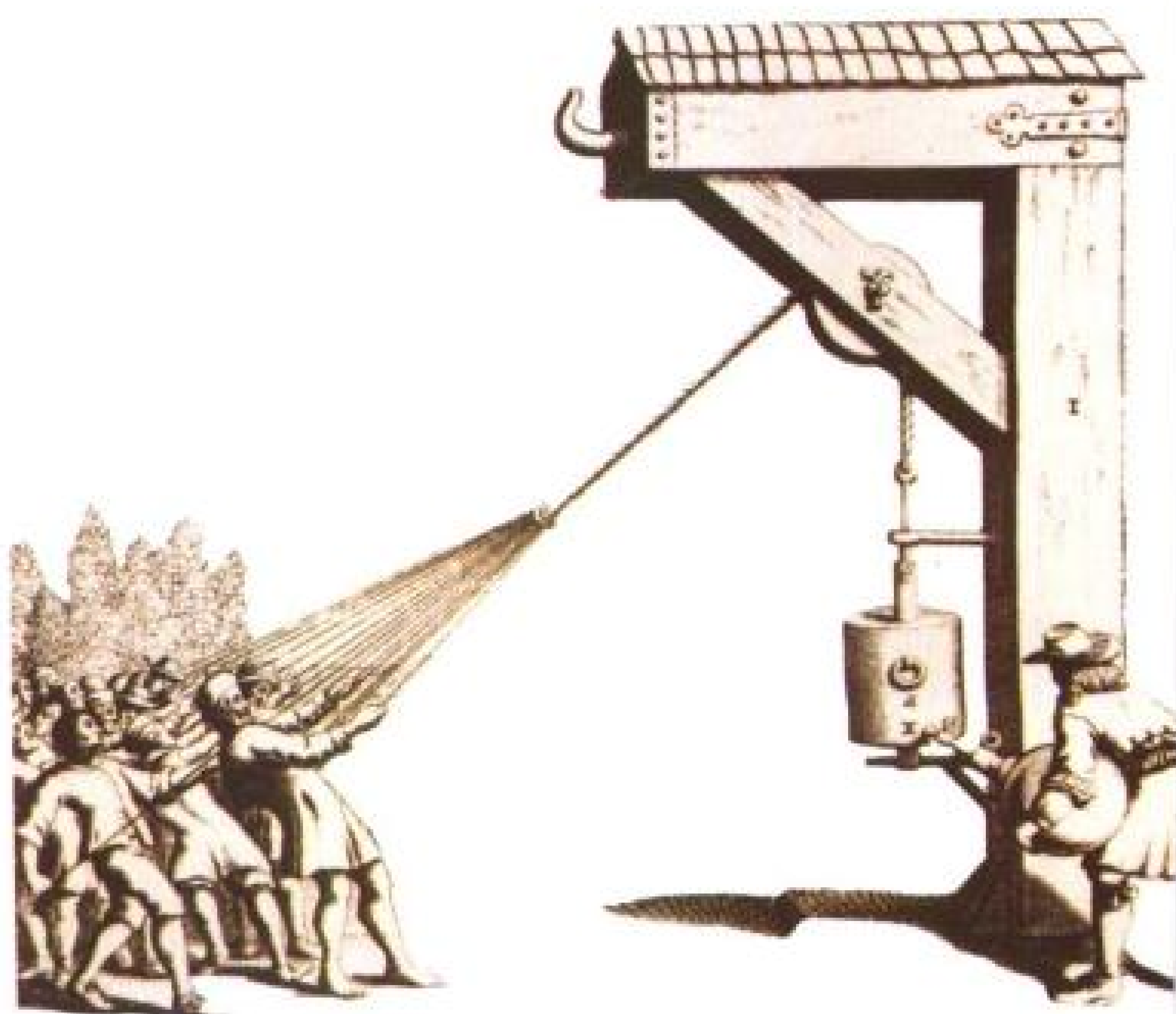


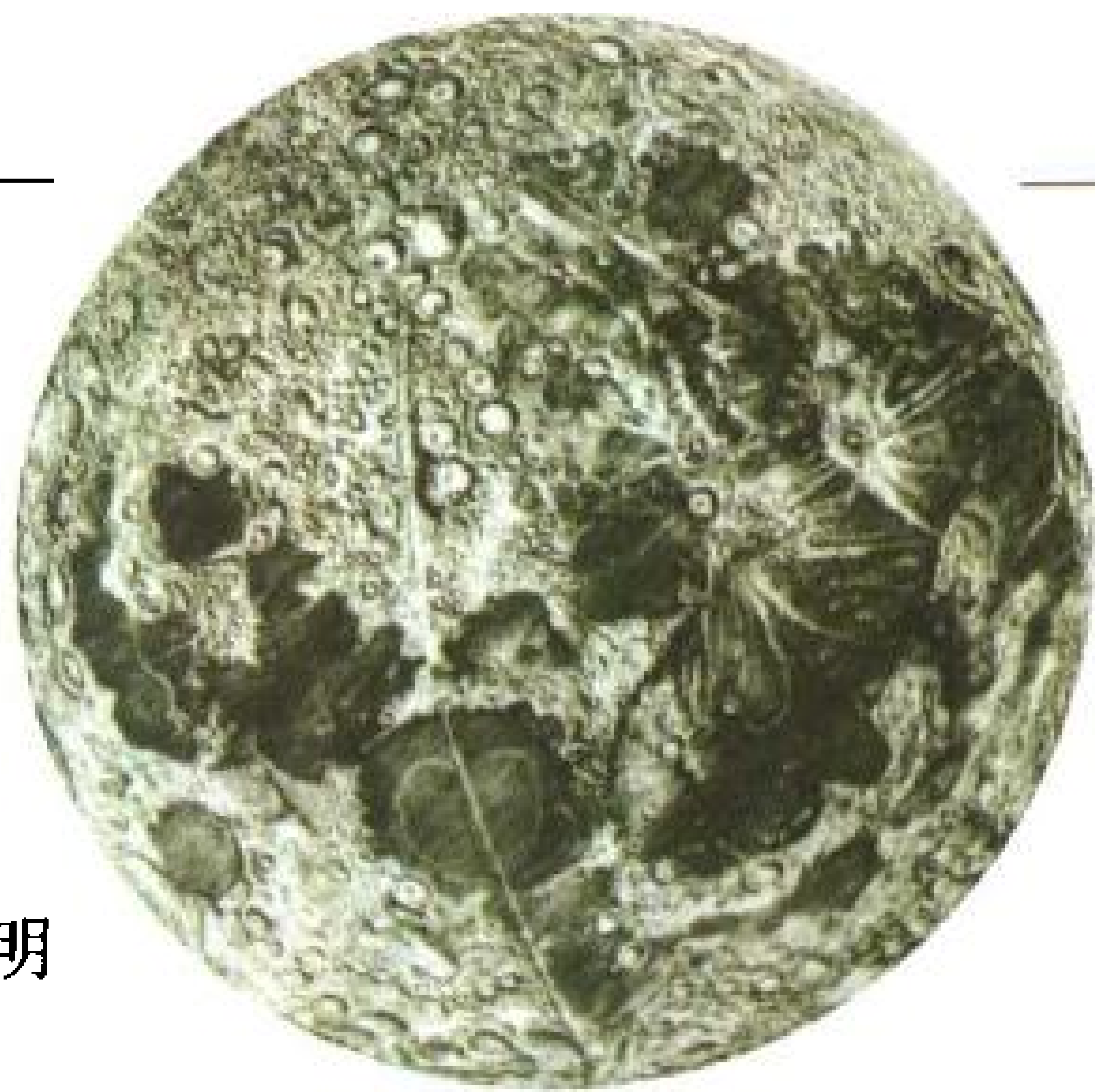
1684 年 8 月,哈雷来到剑桥,
向牛顿提出了一个问题。
这个问题显然很难,哈雷自己解决不了,
皇家学会的其他成员茫然不知所措。
牛顿当下就说,他知道这个问题的完整解答;
这解答是他几年前就写好的。
太阳系里所有物体的运动,都可用
同一条定律来解释:万有引力定律。
剩下的问题,就是如何说服牛顿发表它了。

第四章

万有引力!

17 26 年时的牛顿(左页图)。他就要公布二十年来的研究结果了。





经过多年来的汲汲努力，牛顿终于能达成他从1665年“神奇年”起，自己在数学研究上的规划。他所发展出来的数学方法，对于圆或椭圆的计算都很适用。只要把这计算方法与万有引力的假说结合，牛顿就能证明开普勒定律。到这个时候，开普勒定律还只是一个简单的描述，说明天体运动的方式；哈雷显然百思不得其解。

牛顿还用他的数学方法来论证一个假设：从一个大球所表现的现象来看，仿佛它的质量全集中在球心上。因此，必须要先计算苹果离地球中心的远近，才能解释苹果的下落现象，而地球半径就是这个距离，现在也已很清楚知道地球半径有多长。

有了皮卡尔的测量，牛顿才能检验自己的定律是否准确

牛顿在1666年时，以苹果和月亮为例子做过计算后，还只能粗略估计出地球半径长。五年以后，皮卡尔精确测量出地球半径。这是桩科学界的大事，但牛顿一直要到1682年才知道这件事。

PAR MR. L'ABBE' PICARD. 177

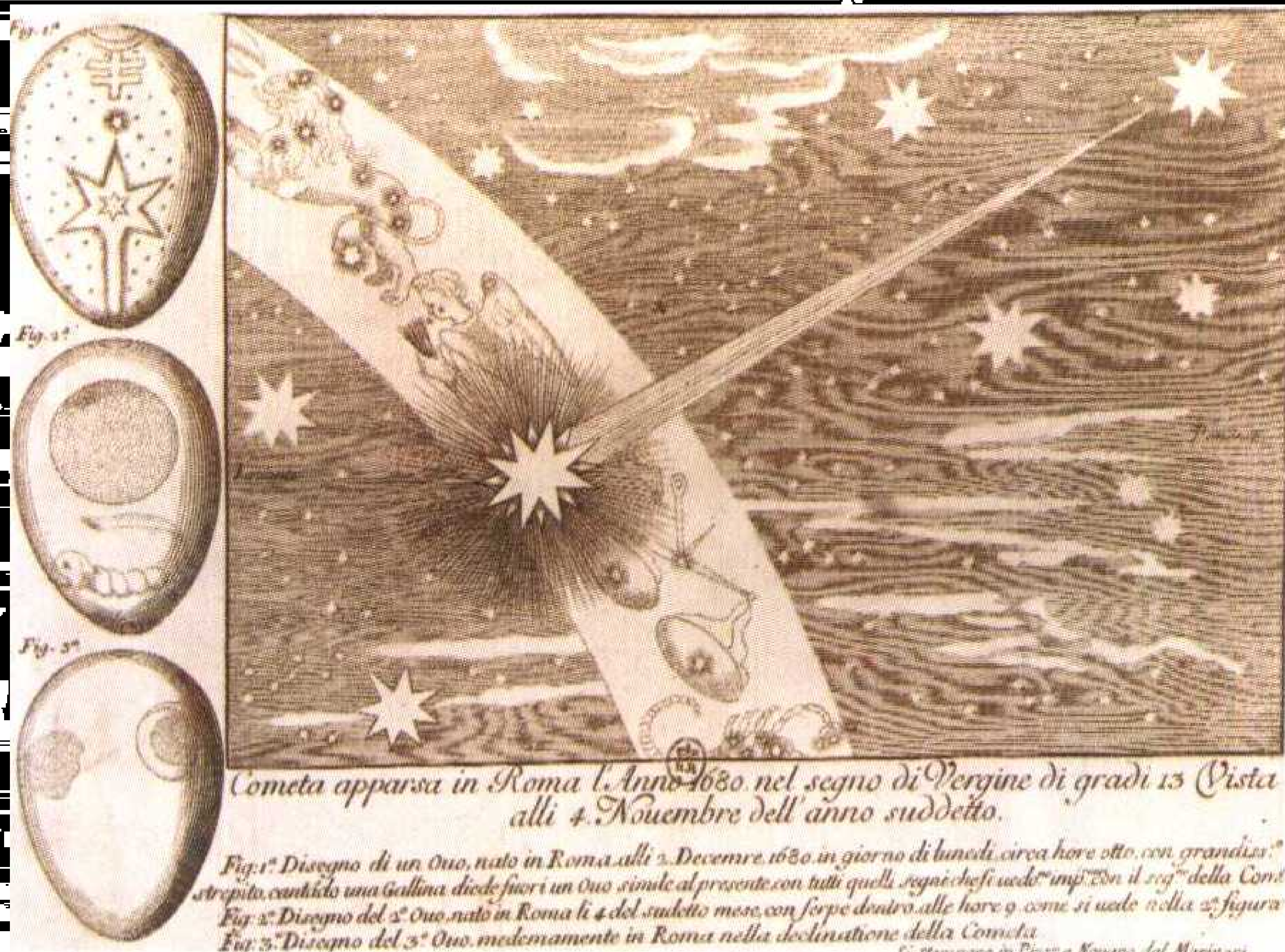
Circonférence de la Terre.	
Toises de Paris.	20541600
Lieuës de 25 au degré.	9000
Lieuës de Marine.	7200
Diametre de la Terre.	
Toises de Paris.	6538594
Lieuës de 25 au degré.	$2864\frac{56}{71}$
Lieuës de Marine.	$2291\frac{59}{71}$

皮卡尔的测量结果（上图）公布了好几年之后，牛顿才得知此事，这说来是很奇怪的。法国科学家发表的各种发现，牛顿向来不会错过。比方里歇在卡宴时，发现单摆在赤道地区摆动得比较慢——直到1682年，一支法国科学探险队才在佛德群岛证实里歇这项说法；而牛顿却在里歇提出发现后没多久，就知道了，并且也确知里歇的观察是对的。那支到佛德群岛的法国科学考察队，另一项任务是测量他们所在地点的纬度。那个时代里，测量的方法并不精确，所以，依照不精确的方法绘制出来的地图，当然称不上可靠了。

如此关键时刻，自然也留下一段故事，精采的程度几乎可媲美苹果轶闻。据说，当牛顿一获悉皮卡尔的结果，便立刻跑到书桌前，用这个新的地球半径数值，来重新计算用苹果和月亮算出的数字。一路算下来，



[redacted]



[redacted]



巴黎天文台的花园里，卡契尼在观察彗星。四周的人显然全神贯注，有几位还是仕女呢。在这幅有关科学活动的图里，彗星激起的关切，从这些人脸上的表情流露无遗。

不太相信。此外，牛顿不认为这个作用在某一时刻会是相斥的。他似乎比较相信，第一颗看来是去了又来，其实是两颗不同的彗星。

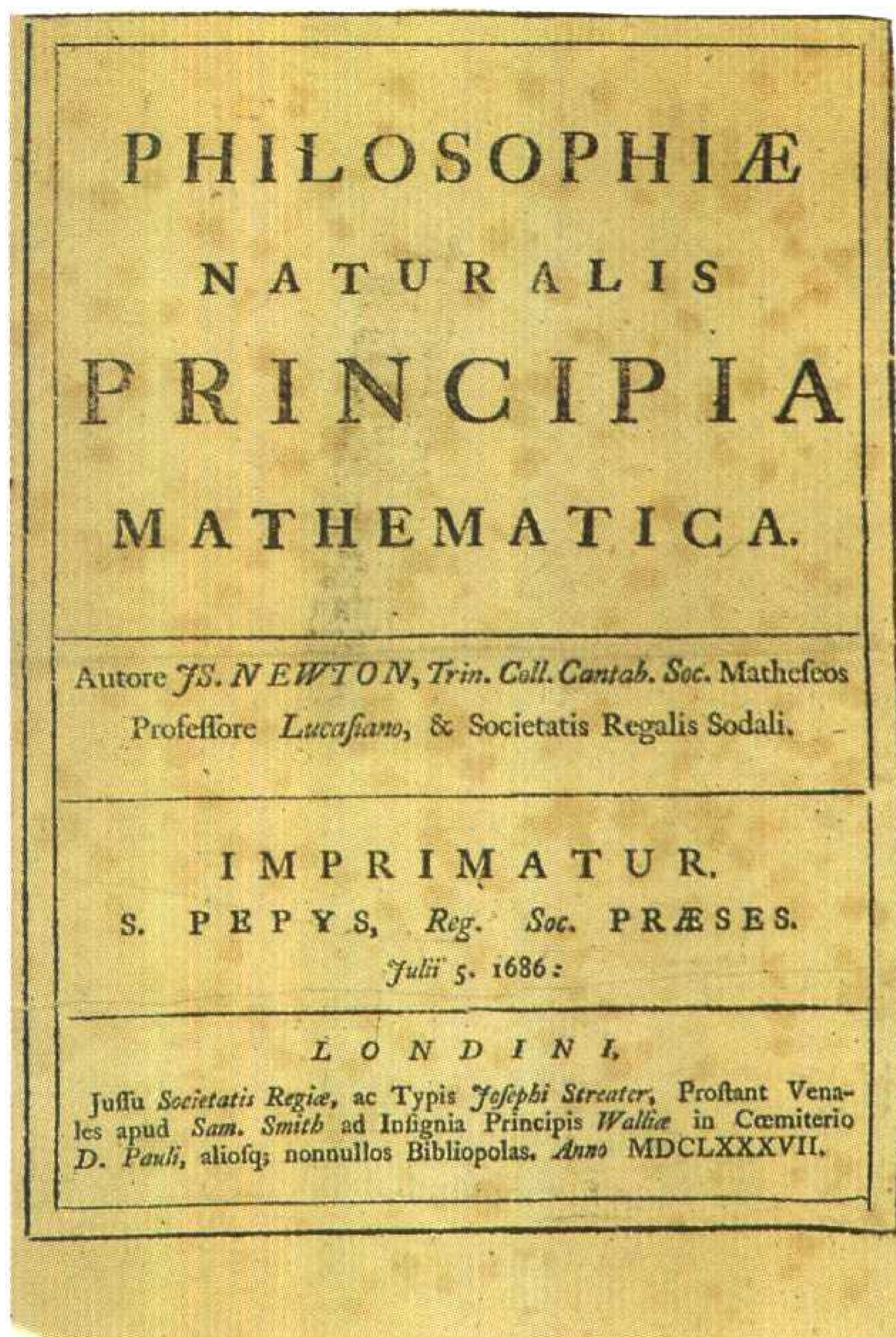
一时之间，彗星成了议论的焦点。1682年，一颗更加明亮的彗星出现了，从它一出现，就受到很审慎的研究。这颗彗星，不久之后被称为“哈雷彗星”，它的轨道符合预计的数字，而且精确得足够提供牛顿有力的证明，让他确定自己的想法是对的。

牛顿素来绝口不提自己的非凡发现，但哈雷说服了他，终于把发现公诸于世

牛顿态度之所以骤然转变，主要是因为在他和哈雷之间，友谊已渐滋长。有生以来，牛顿第一次有推心置腹的朋友。这个朋友没有让牛顿失望。

然而牛顿也知道,如果他不想让别人拔得头筹,就得尽快将自己的发现公布于世。好几个人都在做相关的研究。哈雷这时确是在做引力与距离平方成反比的研究,并且据哈雷说,霍克也在进行。此外,牛顿在数学上的劲敌莱布尼兹,刚刚发表了一种微积分方法,与牛顿的方法不同,而且似乎比较好用。

哈雷回到伦敦后,牛顿允诺,年底以前,会寄一份论证的抄本给他,而牛顿以前就曾给他看过。然后,哈雷将向皇家学会提报,这除了让新发现名正言顺,也打算要分几卷出版一套著作。这套书要把牛顿所有力学上的研究成果,以及这些研究应用来说明天体运动的部分,全部刊印出来。


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *JS. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheſeos Profeſſore *Lucaſiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686:

LONDINI,
Juſſu *Societatis Regiæ*, ac Typis *Joſephi Streater*, Proſtant Venales apud *Sam. Smith* ad Inſignia Principis *Walliæ* in Cœmiterio *D. Pauli*, aliosq; nonnullos Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

早在皇家学会的佳评美誉之前,牛顿就已开始编写《原理》

两年之内,牛顿完成了整个著作的前两卷;这整部书叫《自然哲学的数学原理》。当时还把物理学称为“自然哲学”。

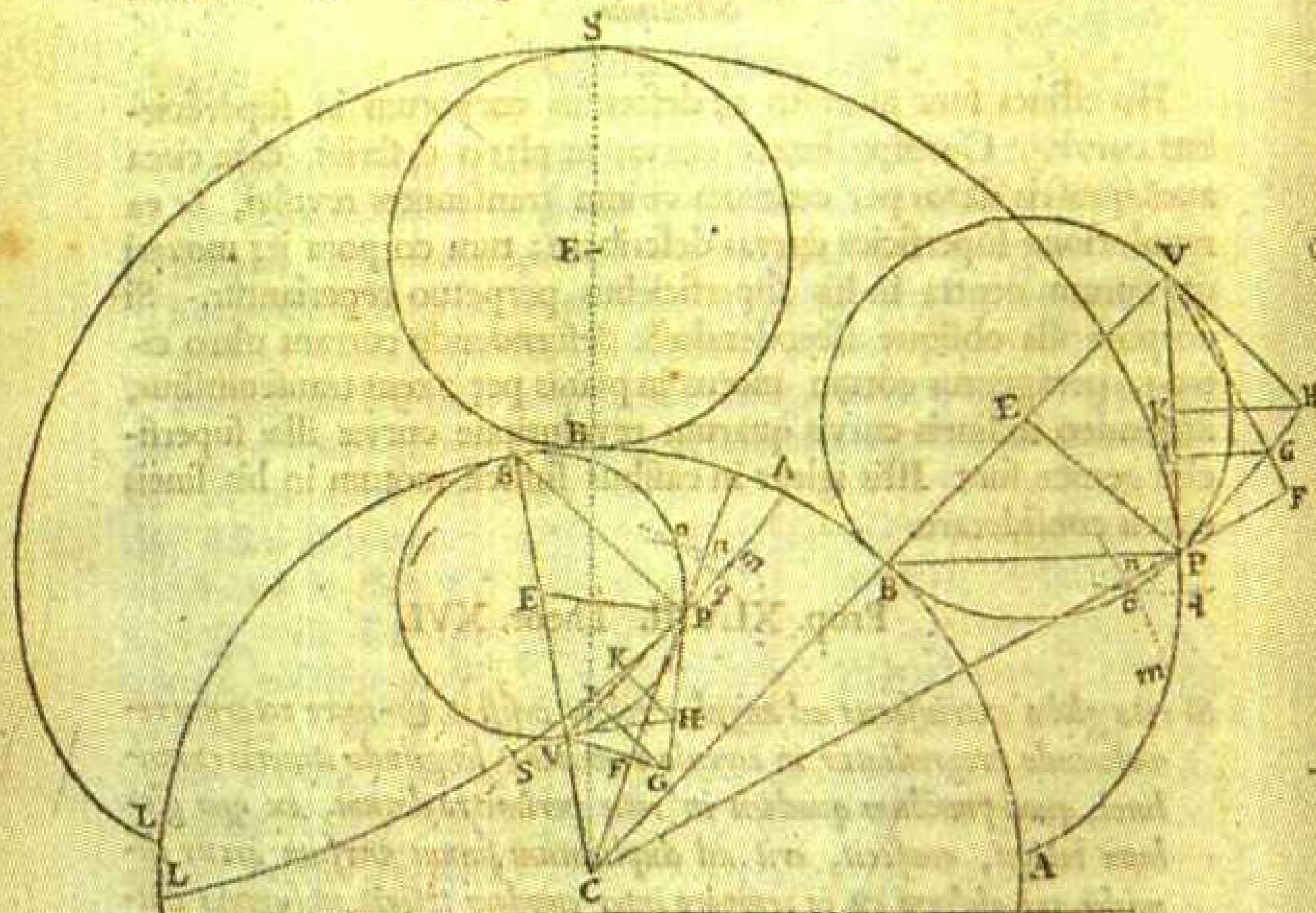
前两卷涵盖了他所有理论的精髓,包括万有引力(特别是有关大球的论证),还有关于力与运动的一般定律。这些定律后来就称为“牛顿定律”,主宰了此后两百多年的力学研究发展,影响非常深远。

牛顿已经把这些定律应用在许多地方:碰撞、单摆、抛物体、空气阻力、液体的平衡、振荡的传播(特别是声波振荡)……等各领域。物理学的研究素来粗疏杂驳,而且毫无秩序可言;自从有了牛顿的定律,这个学科豁然条理清晰,结构井然。物理学在伽利略

[redacted]







[148]

quod punctum quodvis in Rotæ Perimetro datum, ex quo globum tetigit, confecit, erit ad duplicatum sinum versum arcus dimidii qui globum toto hoc tempore inter eundum tetigit, ut differentia diametrorum globi & rotæ ad semidiametrum globi.

Sit *ABL* globus, *C* centrum ejus, *BPV* rota ei insistens, *E* centrum rotæ, *B* punctum contactus, & *P* punctum datum in perimetro rotæ. Concipe hanc Rotam pergere in circulo maximo *ABL* ab *A* per *B* versus *L*, & inter eundum ita revolvi ut arcus *AB*, *PB* sibi invicem semper æquentur, atq; punctum illud *P* in Perimetro rotæ datum interea describere viam curvilineam *AP*. Sit autem *AP* via tota curvilinea descripta ex quo Rota globum tetigit in *A*, & erit viæ hujus longitudo *AP* ad duplum sinum versum arcus ½ *PB*, ut 2 *CE* ad *CB*. Nam recta *CE* (si opus

[redacted]

牛顿把《原理》献给皇家学会，皇家学会在1686年4月收到了前两卷的原稿

哈雷是《原理》一书的催生婆。他个人的研究贡献也很可观：他观察了南半球的星体，把资料汇编成目录；他研究彗星现象，他发现了赫克力士星云；1718年，他发现了行星运动的证据。

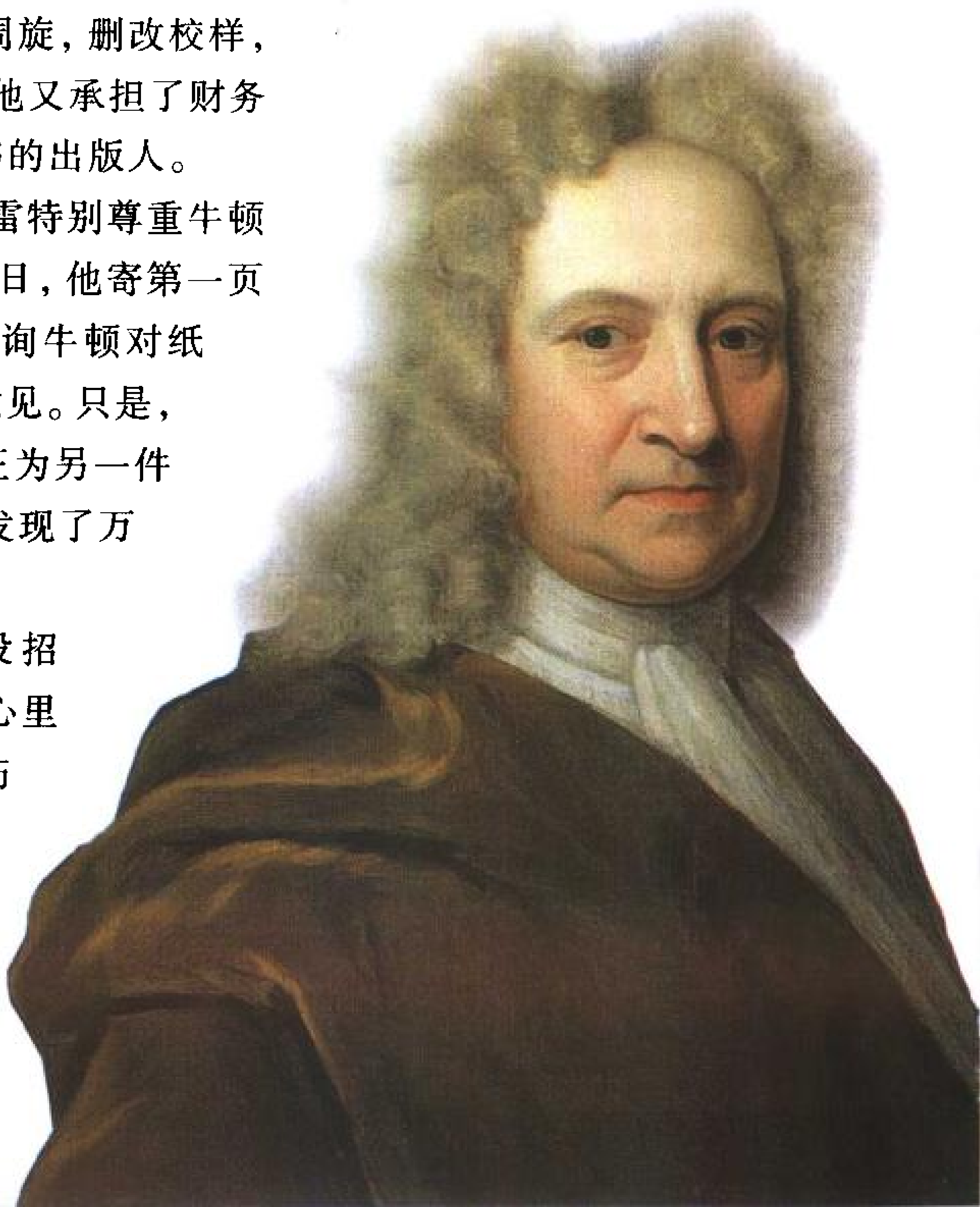
皇家学会马上决定付诸印制。依照英国的法律，任何人想出版一本书，都必须先取得官方的许可证。这个许可证，只有少数几个人有权授予：坎特伯雷教区（Canterbury）大主教、伦敦主教、剑桥和牛津大学的校长，以及皇家学会主席。

学会当机立断决定出版，这已跨越了第一道难关。接下来就要筹集印刷所需的资金。此时，学会其实已经濒临破产。哈雷正逢父亲去世，关于继承的诉讼缠身，但是他仍然一肩挑起了印刷费用的担子。

早先，为了说服牛顿，哈雷揽下全部的出版庶务：和出版印刷商周旋，删改校样，验算数据和审图。现在他又承担了财务的风险；他俨然成了此书的出版人。

在编印过程中，哈雷特别尊重牛顿的意思。1686年6月7日，他寄第一页的校样给牛顿看，以征询牛顿对纸张、字型和插图大小的意见。只是，牛顿没空管书的事，他正为另一件事苦恼：霍克宣称他先发现了万有引力……

霍克这么说后并没招惹很大的风波，但牛顿心里很不是滋味……旧日伤痕又隐隐作痛，因此对出版第三卷的事他打算作罢。他写信给哈雷：“哲学（即物理学）



是一个既不温柔又尖酸苛刻的悍妇，一旦招惹了她，就没完没了。我已经尝过不少苦头。现在，我还没当面和她打交道，她就已不由分说，对我怒目相视。”

哈雷试图挽回牛顿的心意。牛顿自己明白，如果少了第三卷，前两卷原理就乏人问津，并且，也就此毁了与哈雷之间的情谊。最后牛顿回心转意。

1687 年初，在第 186 期《哲学会报》上，已荣升此刊物主编的哈雷，写了一篇关于《原理》的评论，语多赞扬推崇，还附笔说将在许多家书店销售。牛顿的理念终于公开，再来就要看世人的反应了！

以今日的词汇来称呼的话，哈雷是地球物理学家。他的研究范围，包括地球磁场现象、潮汐、洋流。由他开始，人类对于气象的认识，可说是跨出了一大步。他正确地解释了贸易风的成因：气流受到太阳热力的作用，运动方向变成垂直。他率先观察出水的变化过程；蒸发，成云，形成水滴，下雨，水流成河，河入海洋，而后又蒸发。热的变换在地球物理现象中扮演重要角色——这个重大认识，也是哈雷最先提出来的。

一般人虽然对《原理》钦佩有加，却没有人能理解个中堂奥

一般稍受过教育，喜欢追根究底，但并不是科学家的大众，就是这种反应 了。《原理》是严峻冷冽的，纯然是数学的论著，这对一般人来说，简直有如天书。但它仍广受欢迎，卖得很好。许多人不畏深奥，尝试着要掌握书中精义，即便是皮毛也不气馁。

这种态度也许源于猎奇心态，但也显示出当时的人对于数学研究的兴趣。《原理》深受欢迎，时人着迷于数学，例子随手即可拈来一则。

皇家学会主席佩皮斯（Samuel Pepys），在主席任内签署了《原理》的出版许可。20 年前，他还只是一位年轻的海军部大臣。他在 1665 年的私人日记里曾提到，他请了数学家教，就只为了了解除法！而这不单只是为了工作，他也非常乐在其中。后来，连他的夫人也来和这位教师学数学。



大众把这种热切的心转向《原理》。所有的科学家都强调，这部巨著彰显了新科学思想。即使它不易阅读消化，一般读者并不因此而丧气，他们希望







个小小的标点符号他都仔细检查。除了哈雷，当时在欧洲，可能还有十多位科学家，可以在一段时间内阅读完，而且能完全弄懂《原理》：惠更斯、莱布尼兹、霍克（想来他是怏怏不快的）、罗埃……

然而，还有一些人，虽然未能掌握论证的细节，却也懂得赞赏此书的成果，以及它整体的价值。由此，倒是引出了一个根本问题，一个纯属哲学上的问题——别忘了，物理学还被称为“自然哲学”……

这就是超距作用问题。笛卡尔提出了涡动的说法，以解释天体运动。在他的解释中，天体之所以运动，是由于某种看不见的物质产生了一种动力，继而推动了天体。这种说法提出的是一种超距作用，说有一种力量可以穿过几百万千米、不必实际接触物体

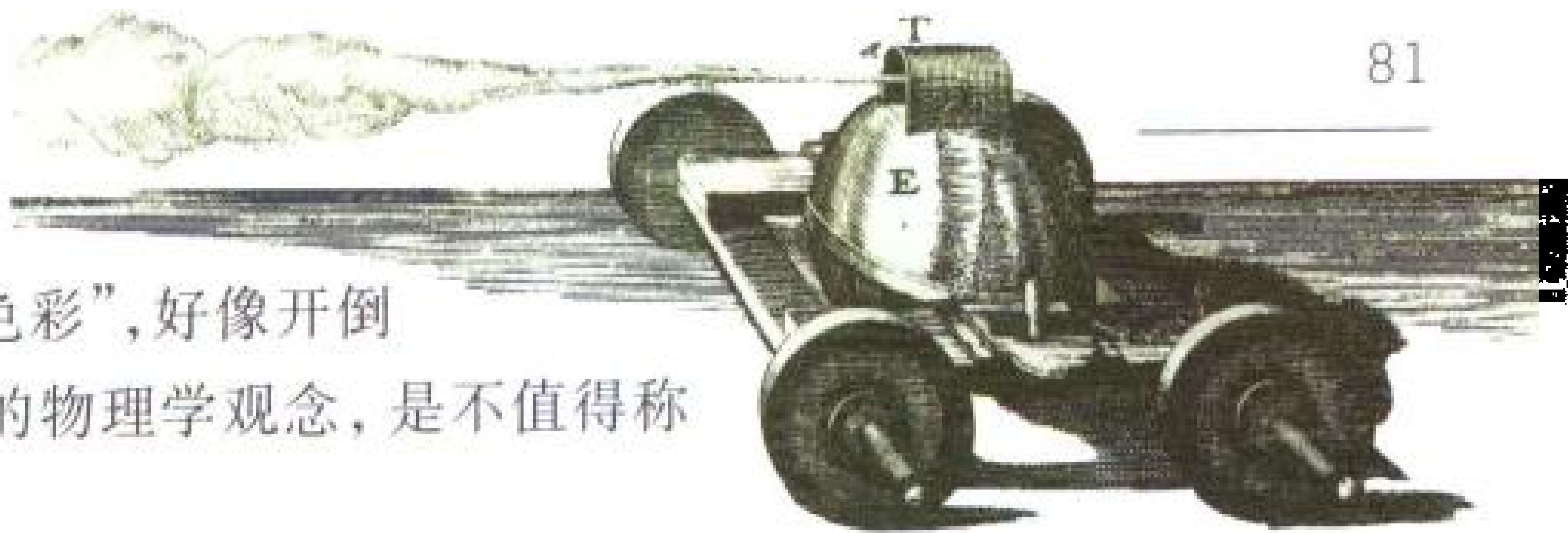


伽利略死后，帮浦很快就成为科学家讨论的焦点。帮浦究竟是如何作用的？亚里斯多德一口断定，“恐怖的真空”（*horror vacui*）是帮浦的原理。伽利略的助手托里切利则认为，气压是帮浦的作用原理。1648 年，帕斯卡作了一系列的实验，而后指出“大自然嫌恶真空”的逻辑谬误。帕斯卡把所做的实验，收录在他有关水利的论文里。









就能起作用——这说法带有“神秘色彩”，好像开倒车，又退回到古代的物理学观念，是不值得称许的。

伽利略的助手托里切利(Torricelli)说过，水在帮浦中会上升，是由于大气压力的作用。帕斯卡也作过实验。在这两人之前，大家认为，真空现象背后必然有某种奇特的力量。牛顿的引力理论，显然也是回到古代的观念。

在一封给哈雷的信中，针对有人说他的理论是开观念的倒车这一点，牛顿这么辩解：“我这不是谈论什么恐怖的事。我只是那个作实验的人，证明了水在帮浦中会上升罢了。”事实上，后来引起一场关于万有引力的物理特性的争论，牛顿本人并未参与。他只是提出一个自然定律，以数学的形式表达出来，以便计算各种观察得到的运动。他非常小心，不臆测是不是真有一种东西，能够施加引力，传递引力。

这辆“气流车”的推动力，来自气流。不过这辆车没有制造出来，只是想像出来的。画这车的用意，是要说明牛顿的第三定律：任何一个力在作用时，必有一股反作用力产生，而两者的力同样大。牛顿三大定律是力学的基础，所有以运动方式而产生作用的器具，都可用牛顿定律来说明——昔日成立，现在仍然有效。这辆气流车是想像出来的，但是我们知道，有许多现在熟知的机械是应用牛顿第三定律的。

“完美的力学”之外，也要一个完美的物理学

然而有些科学同行另有看法。他们确实一致赞赏牛顿理论(即数学上)的架构，但对《原理》的哲学意涵则不予置评。他们倒也没有刻意回避这个话题。这种态度，在一篇文章里看得出来。

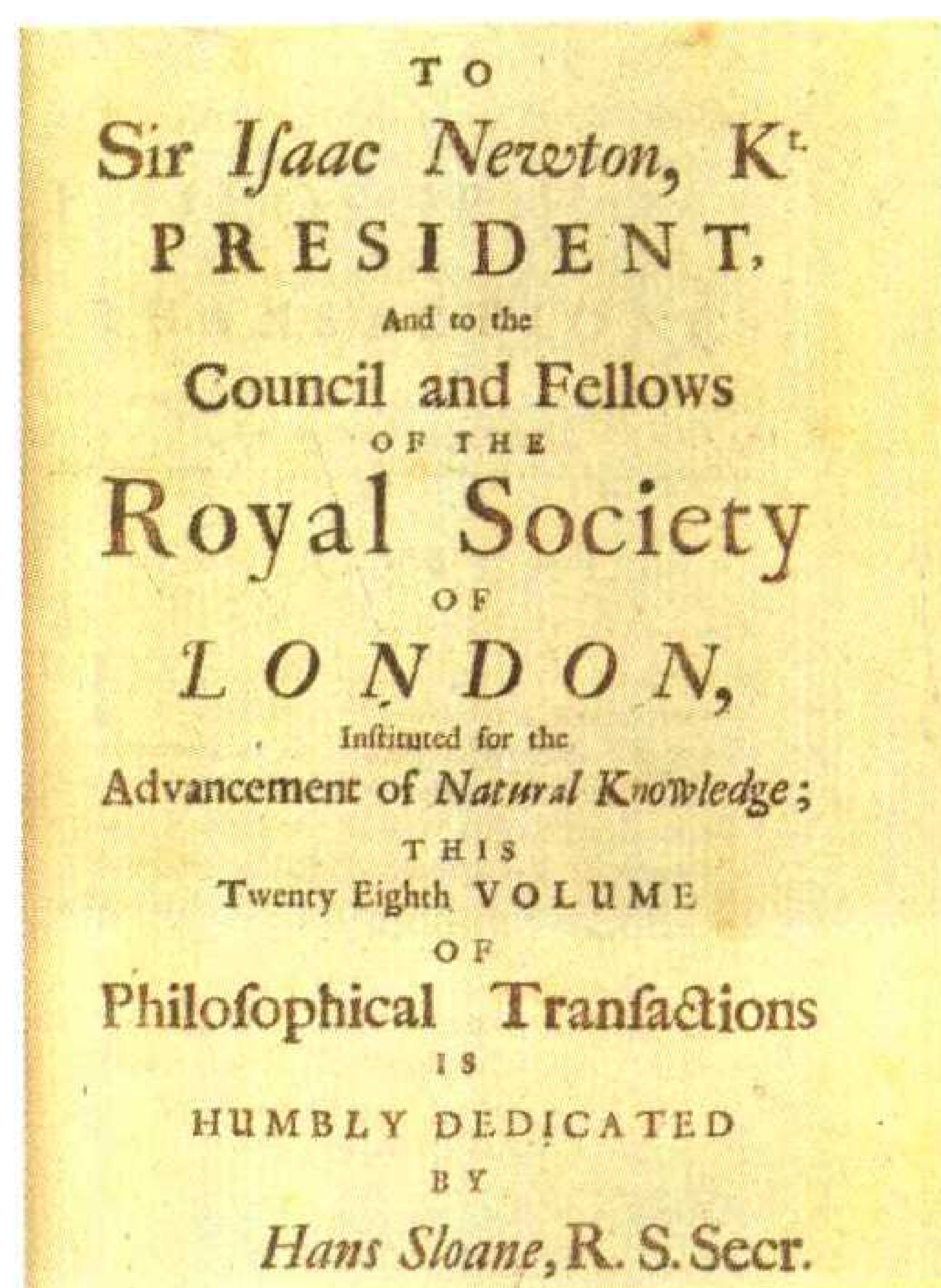
1688年，《哲人学报》上登了篇文章，作者一方面嘉许牛顿理论是“一个登峰造极，完美之致的力学”，一方面却也要求牛顿“给我们一个和力学一样精确的物理学”，也就是说，要牛顿对引力的真正本质有个交代。不过，碰触万有引力本质的见解，还得等到20世纪，爱因斯坦的“相对论”出现。在这之间的时期，牛顿理论是“完美的力学”，颠扑不破。



任何一个理论都要经过检验才能成立。
验证一个理论最好的方法，
便是看它的预测准不准确。不过，
解释一个已经看到的现象是一回事；
预见了一个未知的现象，然后观察它，
又是另一回事。1735 年，
法兰西科学院决定验证牛顿的一则预测：
地球在中心赤道处是突出的，而在两极是扁的。

第五章
胜利，再胜利

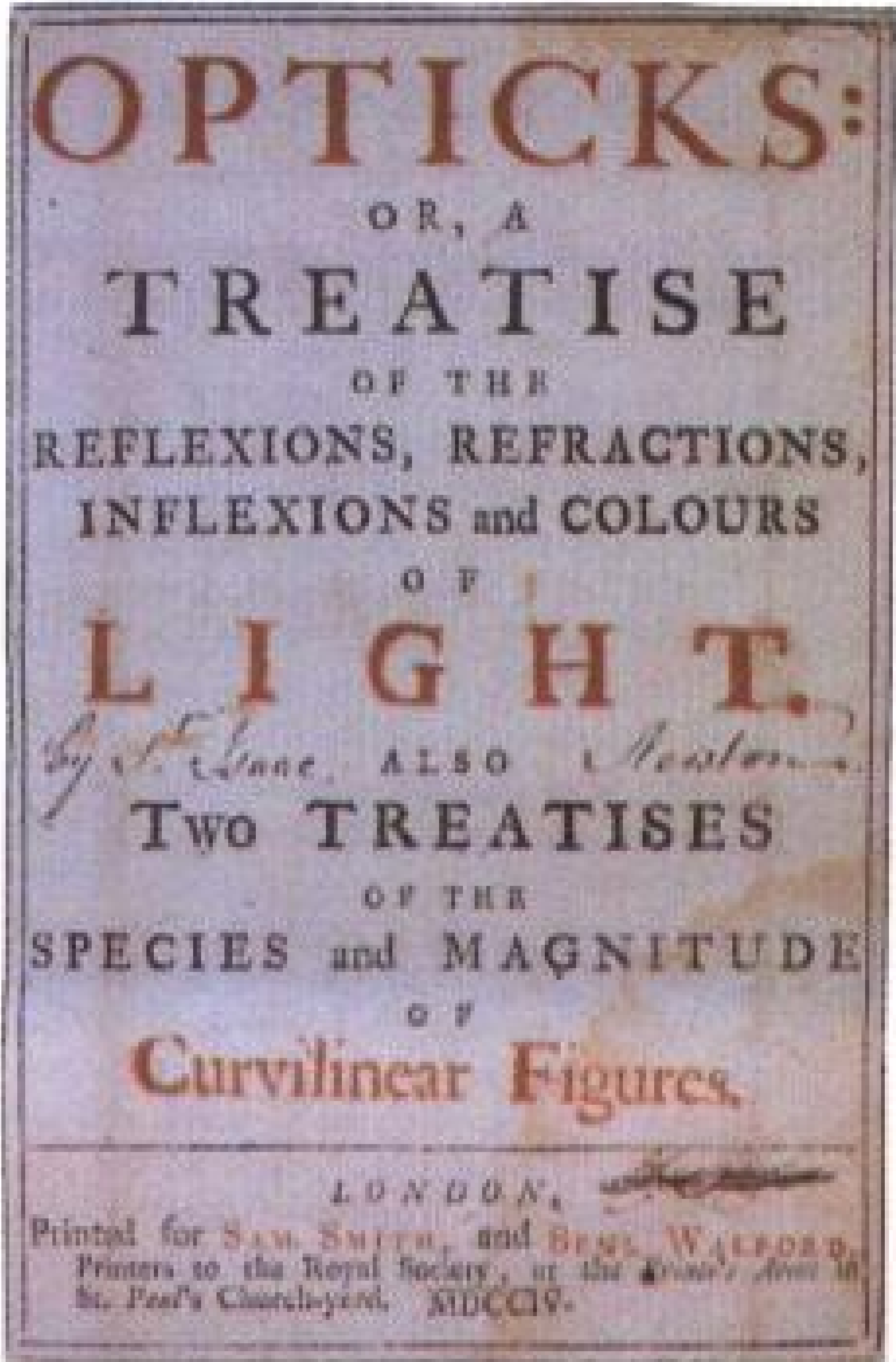
万有引力理论发表之后，在 150 年里，陆续有重大发现：地球在南北两极比较扁平；预测出哈雷彗星重返的日期；知道另一颗太阳系的行星。


TO
Sir Isaac Newton, K^t.
PRESIDENT,
And to the
Council and Fellows
OF THE
Royal Society
OF
LONDON,
Instituted for the
Advancement of Natural Knowledge;
THIS
Twenty Eighth VOLUME
OF
Philosophical Transactions
IS
HUMBLY DEDICATED
BY
Hans Sloane, R. S. Secr.

尽管牛顿理论引发了不同的批评，但是牛顿本人倒是赢得众人一致的敬重。即使法国人也对他尊敬有加。在 1699 年，牛顿当选为法国科学院的国际合作院士。当 1727 年牛顿去世时，法兰西科学院的常务秘书丰特内勒（Bernard de Fontenelle）宣读悼词，他也是第一位为牛顿作传的人。

1704 年时，牛顿发表了另一部巨作：《光学》。这本书在支持牛顿理论的人和笛卡尔的人之间，挑起了一场论战，但双方立场的差异，不若传说中剧烈。例如一位忠实支持笛卡尔理念的学者，马勒伯朗士（Nicolas Malebranche），就采取折衷的态度，而他拔擢了一群比较不“反牛顿”的科学家。

牛顿去世时，思想自由的观念已经萌芽。有一位刚从巴士底(Bastille)监狱出来的法国文人，叫伏


OPTICKS:
OR, A
TREATISE
OF THE
REFLEXIONS, REFRACTIONS,
INFLEXIONS and COLOURS
OF
LIGHT.
ALSO
Two TREATISES
OF THE
SPECIES and MAGNITUDE
OF
Curvilinear Figures.

LONDON,
Printed for SAM. SMITH, and BENJ. WALFORD, Printers to the Royal Society, at the Prince's Arms in St. Paul's Church-yard. MDCCIV.

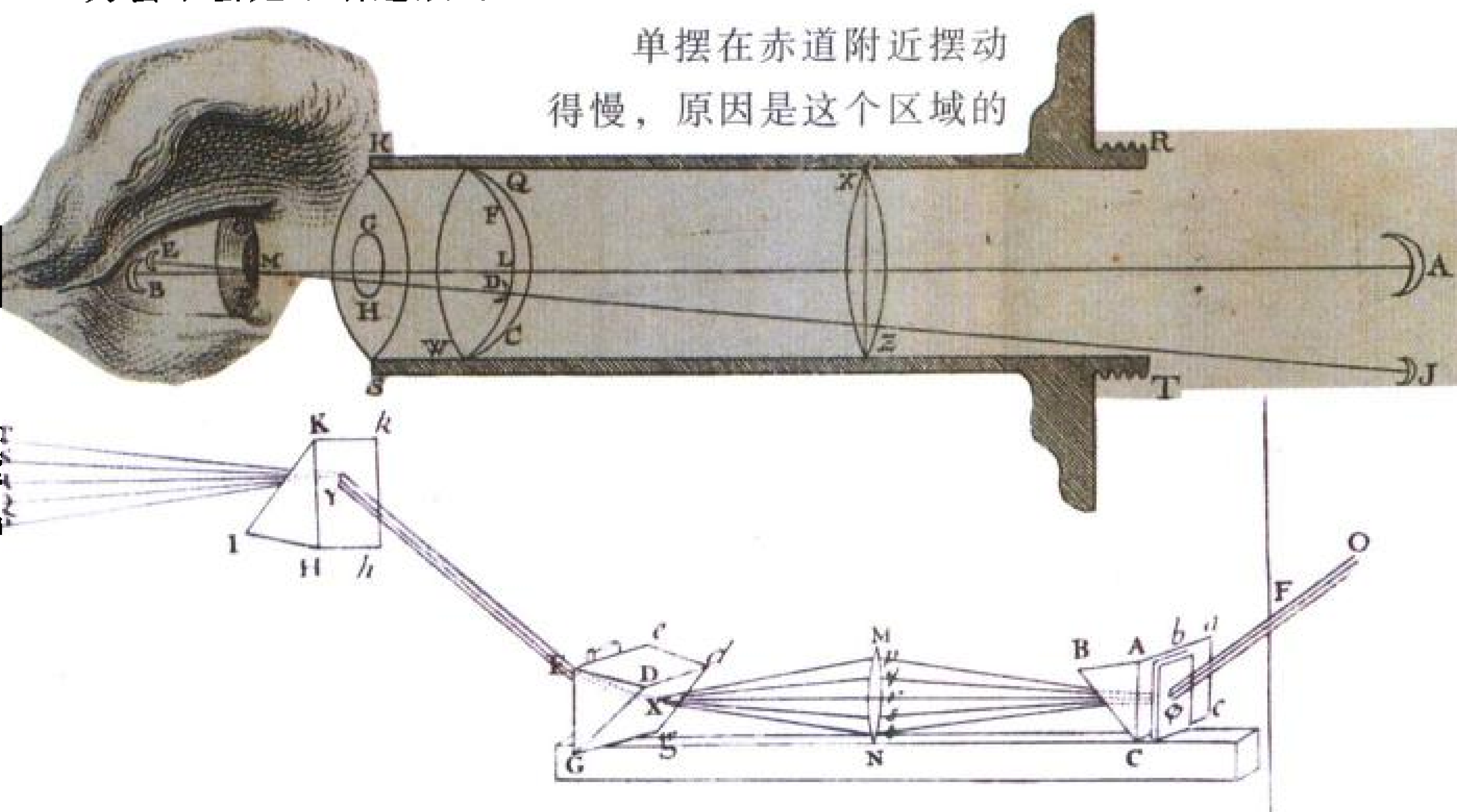
尔泰（François-Marie Voltaire），他所写的《英格兰书简》揭开了启蒙运动的序幕，大力主张思想自由。伏尔泰素来服膺笛卡尔的学说，在他心中，牛顿和牛顿的理论激起了一场“古今之争”。他所谓的“古人”，不是笛卡尔，而是指那些无法接受异议人士的人。伏尔泰敢说话，而正因为他意见很多，所以招罪入狱。

法兰西科学院 1735 年组织了探险队，主要任务，是去验证牛顿的一个推测：地球在两极的地方是扁的。伏尔泰也关心这次探险——不过，地球不是伏尔泰关心的焦点。他真正期待的，是能看到科学战胜偏见，看到牛顿这个代表思想自由的人物，以真正独立的思想据理以争，去反对既有制度，而且得胜。

62岁那年，牛顿出版了第三本重要著作：《光学》。书名简单，但内容非常深刻，包含了光学的理论和这些理论的应用，以及许多相关的实验。欧洲大陆的科学家，一拿到《光学》的拉丁文原本，就开始重复牛顿的实验。

皮卡尔和哈雷在不同地方，看到一样的现象

他俩都看到，同样的摆，在热带地区会比在巴黎或伦敦摆动得慢。此外，哈雷还发现，单摆在山顶上比在海滩上摆动得慢；这个观察引起霍克猜测，万有引力会不会是不断递减的……



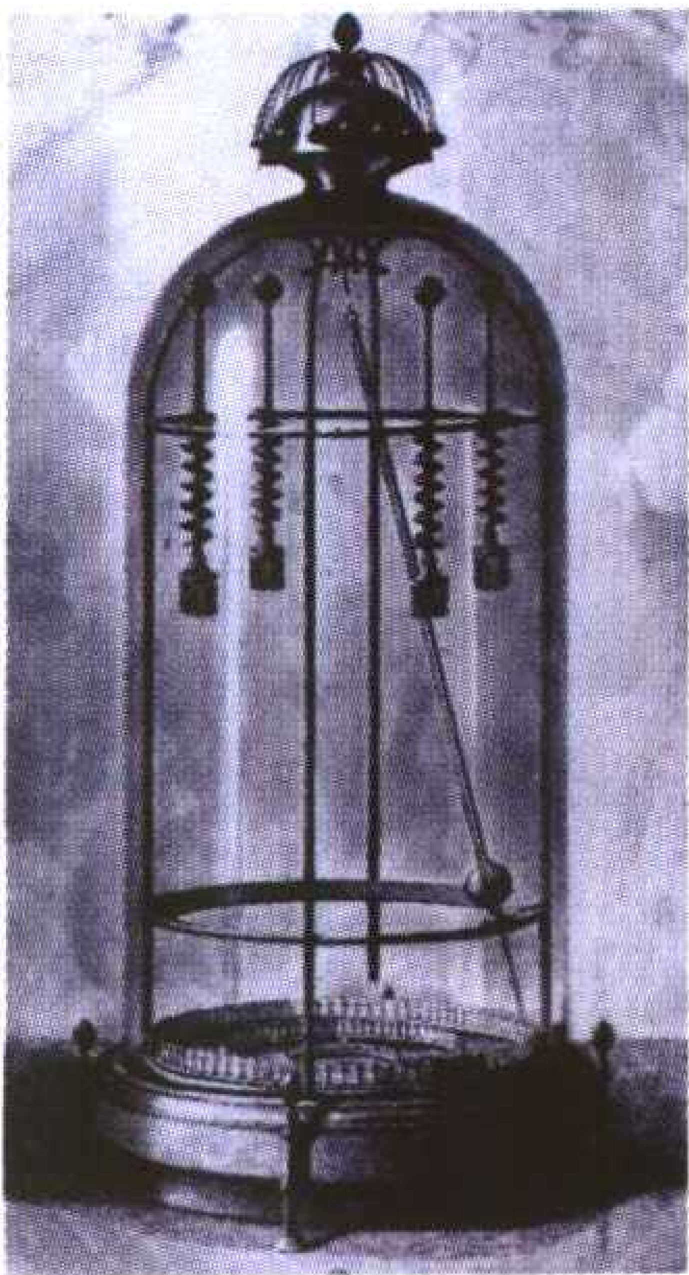
单摆在赤道附近摆动得慢，原因是这个区域的

重力较弱；这个论点大家都同意。但是，重力在这儿为什么会比较弱呢？有人说，是离心力造成的；离心力在赤道附近比较大。不完全对。

牛顿认为，从赤道上的一点到地心的距离，比从巴黎或伦敦到地心的距离要大，所以重力不一样。如果实情真的像牛顿说的，那么，地球的形状就不是一个完美的球体，而是一个稍扁的球体，像个橘子。

如果验证了这一点，那么这将会是牛顿理论的最有力的证据。假使地球确实在赤道地区是突出来的，而在两极是稍“弯”进去的，那么，子午线在赤道地区弯折的程度会比较明显，每一度子午线弧的长度也会比较短。

皮卡尔以前测量出一度子午线的长度，不过那是在法国量的，现在必须在赤道重新测量。如果在赤道的一度子午线比较短，那么地球就是扁的，证实牛顿所言不虚。1735 年，法兰西科学院派了一支探险队到秘鲁，由布盖（Bouguer）和拉·孔达米纳（La Condamine）带领，任务就是做这个测量。



比起拉普兰科学考察队所遇到的困难，秘鲁探测队遇上的阻碍更是难缠。秘鲁探测队辛苦工作了两年，成绩斐然。



秘鲁探险考察困难重重，迟迟没有消息

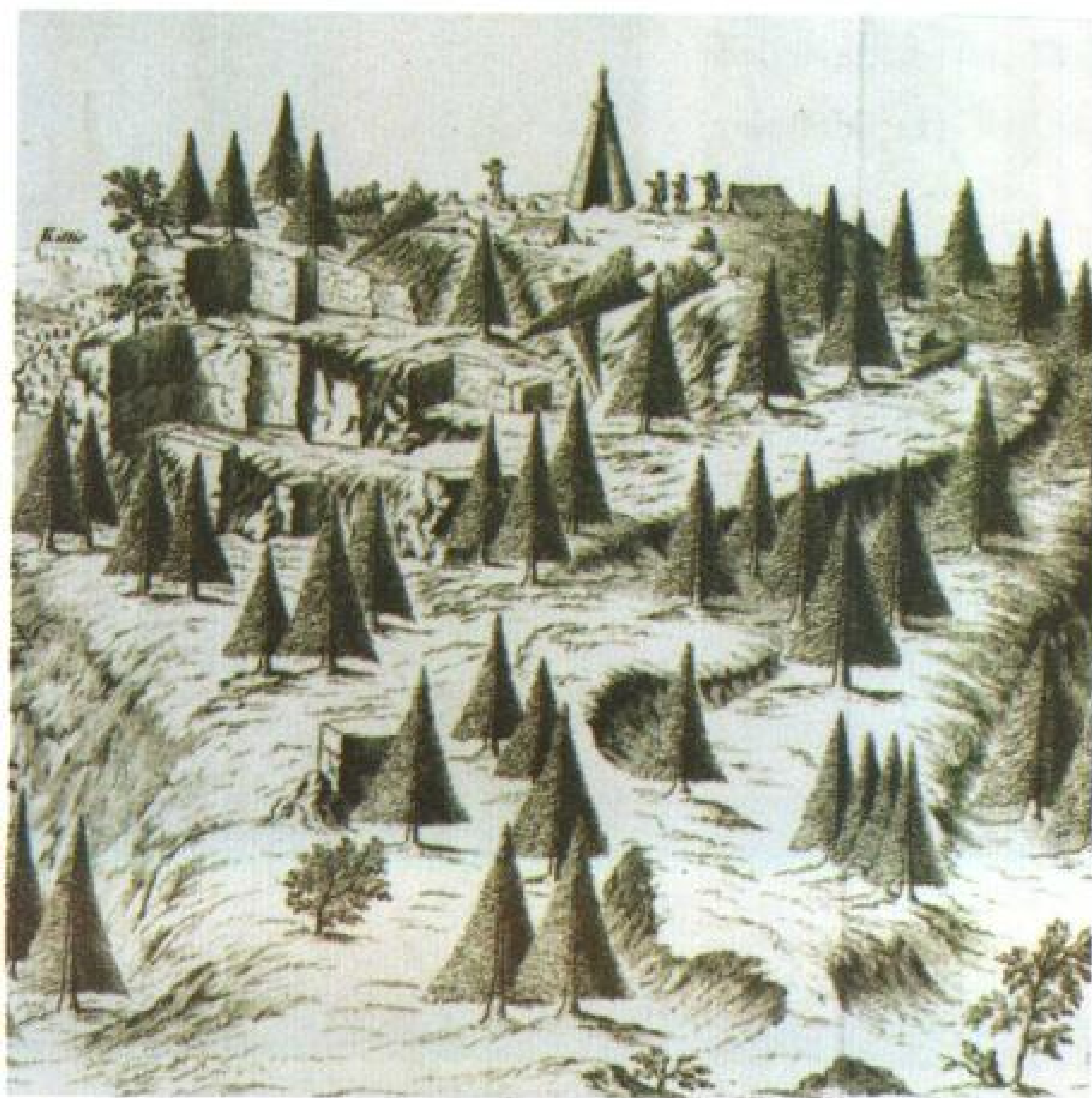
在巴黎有人开始不耐烦了。这人是大力促成秘鲁测量探险之行的莫佩尔蒂(Moreau de Maupertuis)。他是个数学家，也算是生物学家，闲时还钻研语言学。从1728年起，他就大力支持牛顿的学说。他游说了法兰西科学院，推动了秘鲁探险之旅。眼看探险队一直没有成果出来，他非常焦急。于是他又说服了科学院，然后获得国王路易十五的同意，派出另一支探险队。这次要向北去，到斯堪的那维亚半岛北边的拉普兰(Lapland)。

此番莫佩尔蒂自己领队，并找了一批很年轻的助手同行。例如克莱罗(Alexis-Claude Clairaut)，他五年前就已经是科学院院士，在数学研究圈内小有地位，今年才23岁。莫尼耶(Le Monnier)



莫佩尔蒂的画像。这时是1743年，他才从极区回来法国没多久。





尼米山上的营地，出自乌蒂埃的手笔。山顶上有个锥形的小尖塔，是把松树的枝叶除尽，把树皮剥光后做出来的。小尖塔很醒目，从远处就看得到，是探险队要测量的三角形的一个顶点。他们把仪器放在小尖塔内，从塔内瞄准另两个顶点。为了有开阔的视野，他们砍掉了一些树。

比克莱罗年轻,卡穆(Camus)稍长几岁。整个队伍的气氛,像极了一群逃课偷溜的学生。

除了几位科学院院士外,队中有一位瑞典籍的天文学家,摄尔西乌斯(Anders Celsius),他担任翻译。还有一位地图绘制家,天主教教士乌蒂埃(Réginald Outhier)。乌蒂埃沿途写日记,把这次极地之旅的见闻记下来。回国后,乌蒂埃发表了他的旅行日志,内容翔实,堪称旅行文学体裁的佳作。

探险队1736年4月20日从巴黎启程,7月初到达了波罗的海北滨

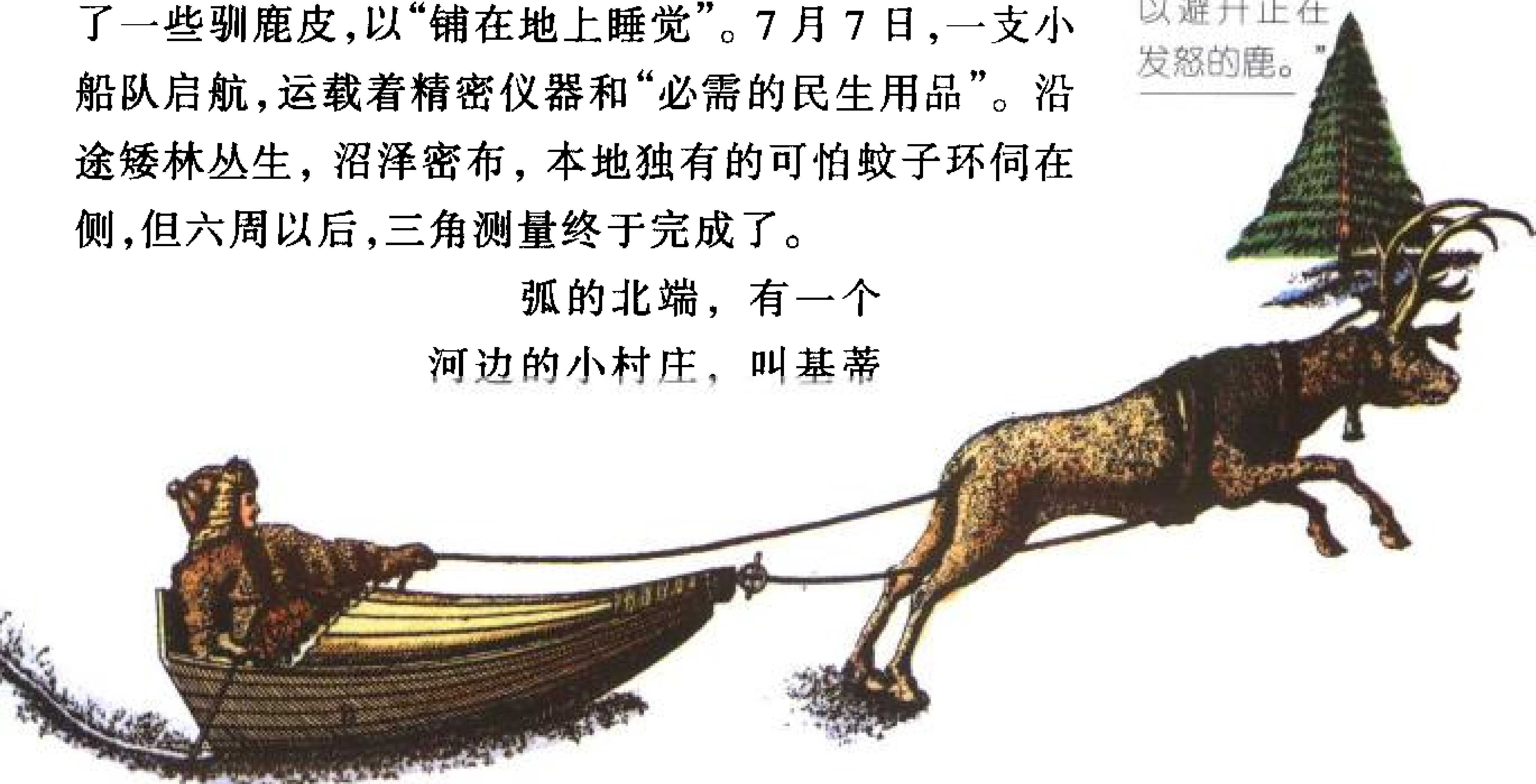
托内亚(Tornea)是一处小小的聚落,只有几幢木屋,它所在的地理位置,就在莫佩尔蒂一行人所要测量的子午弧的南端。他们开始工作:寻找高处的定点,在定点设立标志并安置瞄准仪器。他们所用的也是三角测量法,和皮卡尔以前用的方法很类似,但是他们所处环境的自然条件非常严苛。

莫佩尔蒂雇了几位当地农民,在不同的情况下,他们可以是向导,是桨手,是搬运工,也能是伐木工——把山丘顶的树砍光,好让视野一览无遗。他们买了一些驯鹿皮,以"铺在地上睡觉"。7月7日,一支小船队启航,运载着精密仪器和"必需的民生用品"。沿途矮林丛生,沼泽密布,本地独有的可怕蚊子环伺在侧,但六周以后,三角测量终于完成了。

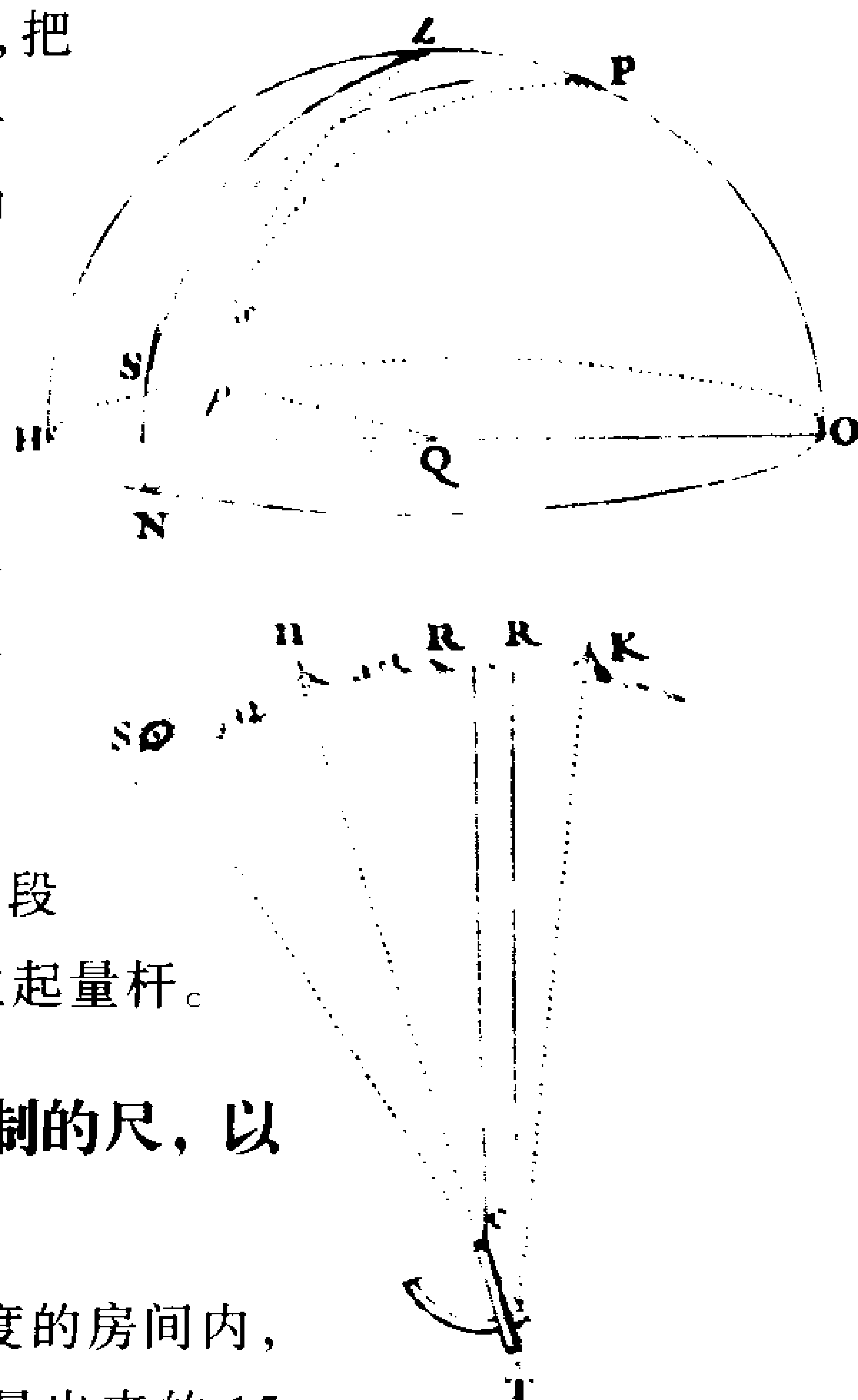
弧的北端,有一个河边的小村庄,叫基蒂

基蒂斯小村(左页上图),就在要测量的弧线位置的北端。这幅木刻画里的几种木屋,是当时斯堪的那维亚的建筑形式,还可看到一种高高的"梯子",是要晒草用的。左上方几幢房舍,是从山下"搬"上来,用作观测站的。基蒂斯是所要测量的一个顶点,它的位置当然要精确标出来。

为了在冬天结了冰的地面上四处走动,莫佩尔蒂全靠"野气未脱"的驯鹿,拖着雪橇跑。这种拉普兰地方独特的交通工具时常翻覆,驯鹿因此常蹬蹄子发脾气。莫佩尔蒂倒是没生气,甚至开玩笑说:"翻了你就躲在船底下,还可以避开正在发怒的鹿。"



斯（Kittis）。他们到这儿买了一座谷仓，把谷仓"搬"运到一座山顶上；这是最后一个定点标志。此外，又竖起一根砖砌的柱子，以利于确定基蒂斯村的位置。若要确定此村的位置，必须要在看得见星星的晚上。可是，他们苦苦等到十月中旬，夜空才没有乌云。不过，眼看河就要冻到海口了。全队把握时间工作，赶着河水完全结冻之前，回到托内亚。接下来，他们架起另一根柱子，以便定出托内亚的位置。现在，他们要在一段约10千米长，又已结冰的河面上，沿路立起量杆。



莫佩尔蒂在1738年公布了测量的结果；布盖1749年也发表了秘鲁考察队的成果。两人的报告都以"地球的形状"为题，既以简单的图表来说明测量所依据的原理，也用较复杂而详细的地图，来解释他们所使用的三角测量法。

为了丈量，莫佩尔蒂带去了一把铁制的尺，以及一个列奥米尔温度计

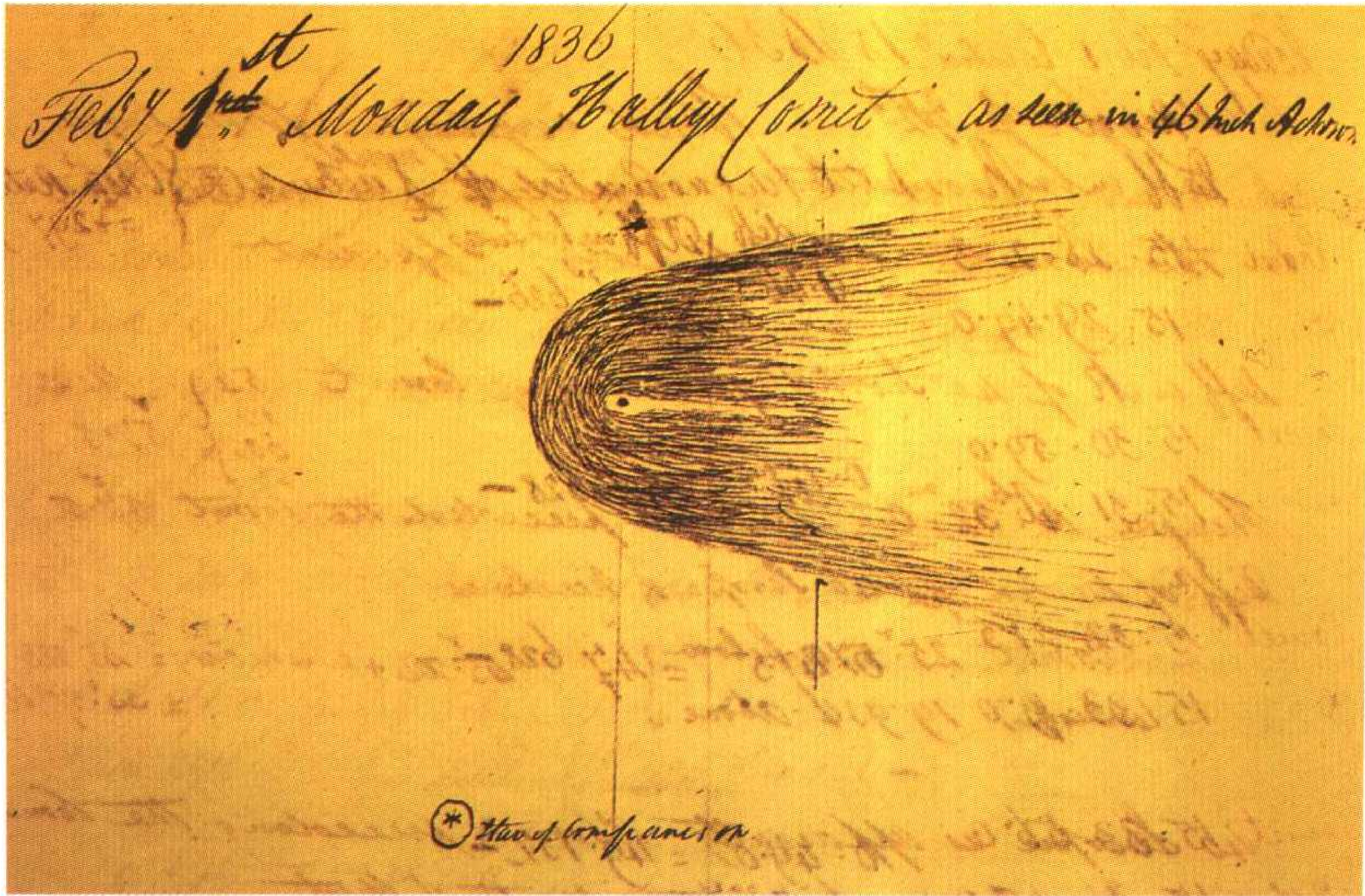
事实上，这个铁棒要"在室温15度的房间内，而且是用列奥米尔（Réaumur）温度计量出来的15度"，才能真正测量出一法尺。因此，就必须调节房间的温度。他们就在房间削制木杆，好让每根木杆的长度都一样。这些木杆只有"一张纸"厚，两端钉上一个大圆钉，当长度参差时，就慢慢锉掉钉头，直到长度完全一致。

12月20日，全队乘雪橇到要测量的地方去。气温是零下20度，河水上覆盖着60厘米厚的冰。太阳在快到中午时出来了，但一个小时后就落下……尽管如此，在一个星期之内，他们就测量了两次扇面的底线，两次测量只差四法时，约合10厘米。

回到托内亚后，几个院士忙着计算的工作，照莫佩尔蒂所说的，这计算不难嘛！更何况有克莱罗坐镇……没花几天功夫就完成了计算：在拉普兰地区，沿

CARTE DE LA MERIDIENNE DE QUITO.

CARTE DU FLEUVE DE TORNEÅ dans l'Espace compris par les Opérations Trigonomet.



知道了哈雷彗星的周期，就可以追溯文献，找出它以前的访问记录。每75年出现一次，但有几次的资料付之阙如。上图是1836年，格林威治天文台记录下的彗星。

子午线转一度弧要57,395古法尺。在法国，皮卡尔算出的是57,060古法尺：地球的两极真的是扁的！

两年后，去秘鲁的探险旅行队克服重重困难，也完成了测量工作，所得的结果吻合拉普兰队所做的测量。从此以后，没有人敢怀疑测量数据了。

《原理》问世60年后，得到第一个明确的证实。第二个证实将来自哈雷彗星

牛顿在《原理》第三卷里提出假设，认为有些彗星运行的轨道是封闭的，呈现被拉长的椭圆形路径，而这类彗星唯有在靠近太阳时，我们才看得到。此外，这类型的彗星，每转一周所需的时间应该都是一样的，所以应该会有规律地重现。

哈雷想要验证这个假设。他1695年时开始搜集资料，一一翻阅所有关于彗星的文献，特别注意路径非常明显，有人记录下来的那几次。由于他手上的资



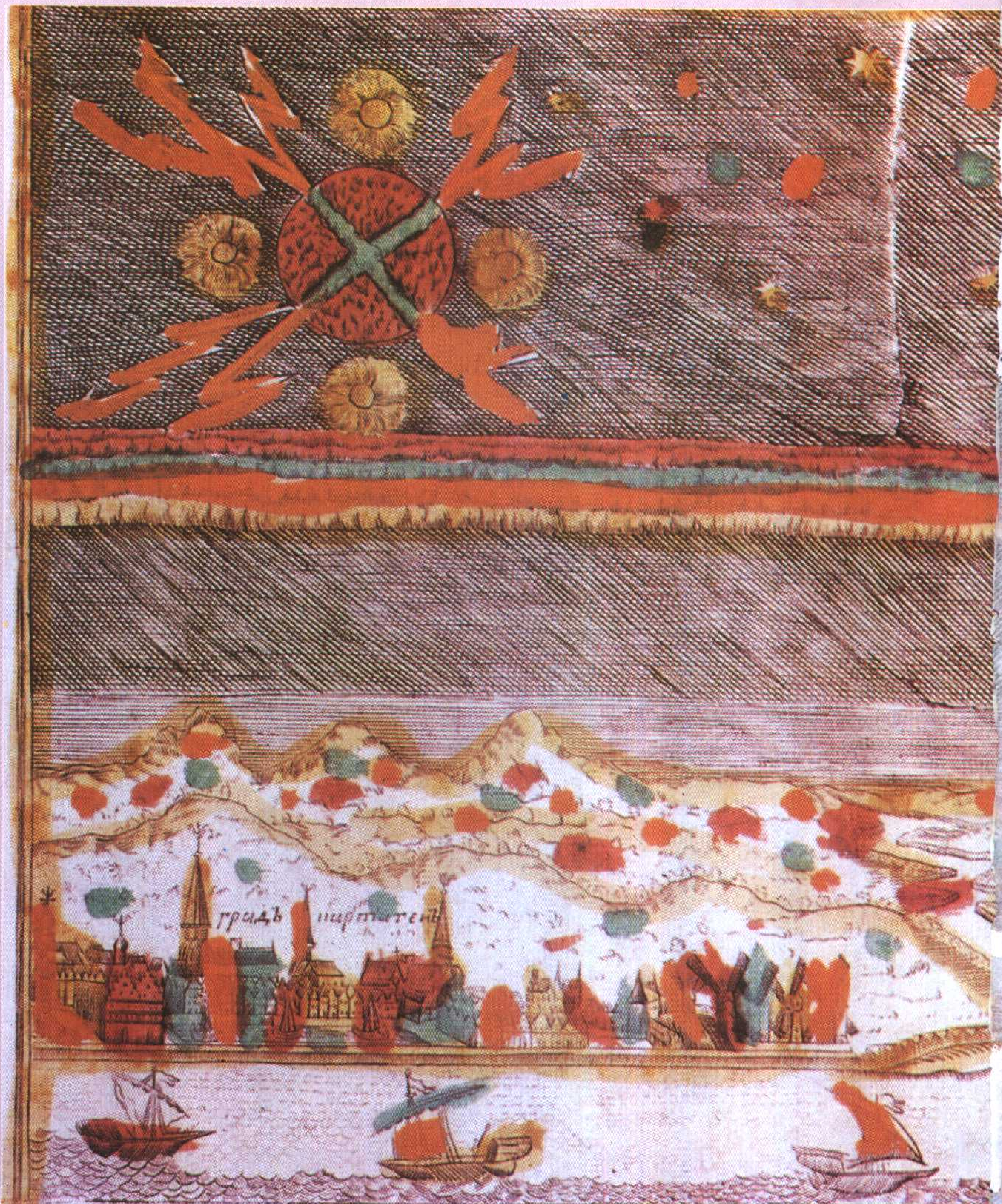
料年代久远，是用肉眼所做的观察，所以，哈雷研究的彗星，必定是最明亮的那几颗。哈雷有了结论：1682 年的彗星轨道和 1607、1531 的彗星十分相似，假如这三次出现的是同一颗彗星，那么它的周期便是 75 或 76 年，下一次应该在 1757 年或 1758 年出现。

哈雷在 1705 年预告，一颗彗星要在“1758 年底或 1759 年初”回来。哈雷所预测的时间愈近，世人激情愈沸。大家纷纷揣测：是不是即将亲眼看见预言成真，看

《圣经》说，有一颗星把三位博士引到伯利恒，并带到一所民舍，屋里有个婴儿降生。那是颗超新星或彗星？这幅画里，上方的星星，显然是彗星——画成之年是1301，依哈雷的周期往回推，正好有一颗彗星出现。


ISTI MIRANT STELLA


HAROLD

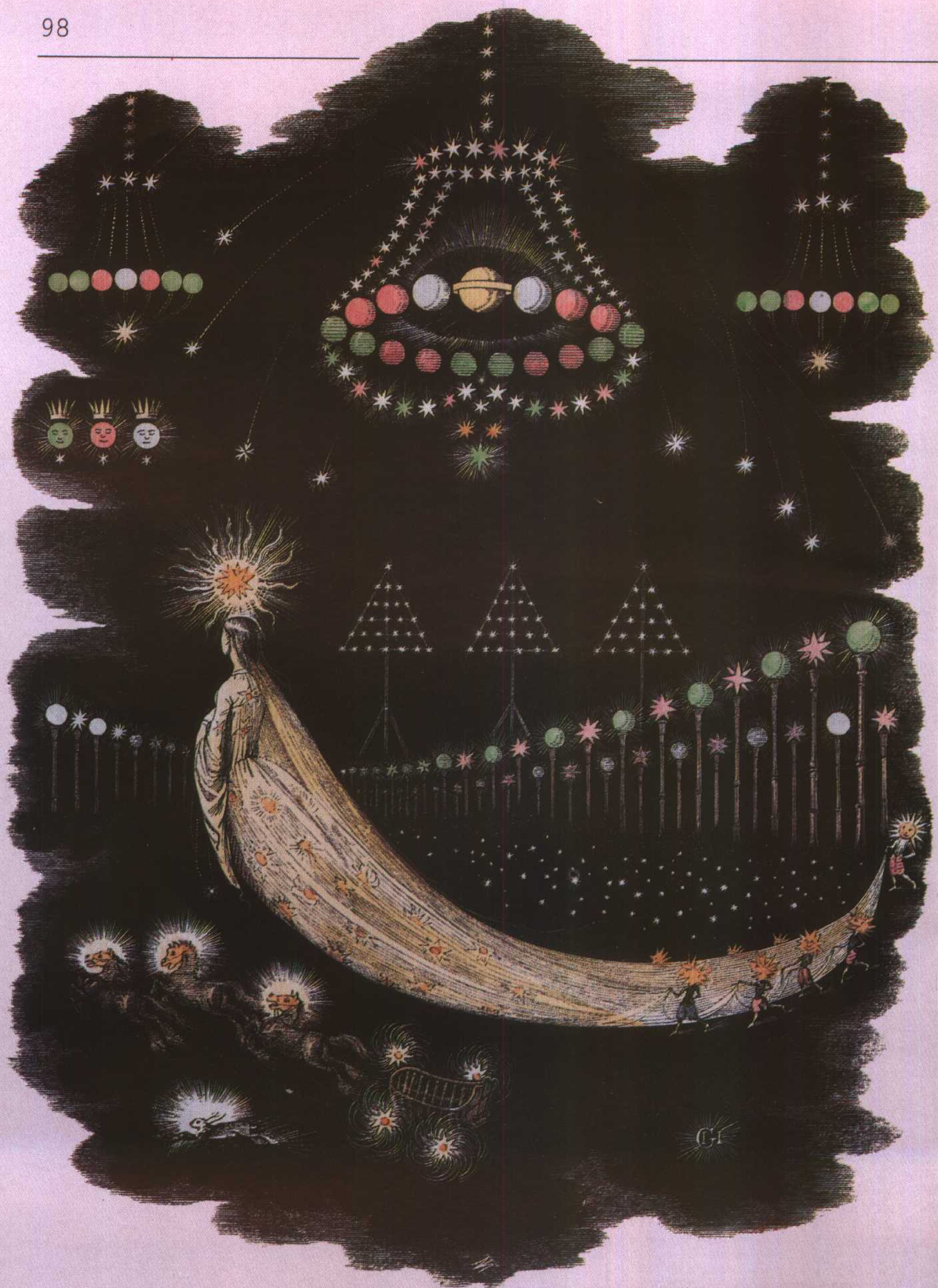

градъ картагенъ
Вчетвертокъ февраля лб. дня 1744. году.
Изъ картагены уведомляютъ. что декабря 28. дня



彗星的传说

出现在天空的景象里，带有奇特景致的，不是只有彗星而已。左图是一幅1743年画成的“天上景象”。这景象如果发生在两百年以后，也就是20世纪，必然是报纸的头条新闻。其实，天空不只有星星而已，还有大气。大气会运动，有尘埃有雾霭；会散射光，会折射光；还会产生光晕、光点、虹等等。这些现象有时瞬间即逝，有时持续很久；既令人惶恐疑惑，也激发出想像力和创造力。

前页是1066年的一幅织锦画，描绘出那年哈雷彗星来时，众人惊愕不安的心情。那年，正好征服者威廉（William the Conqueror）踏上黑斯廷（Hasting）地区，与盎格鲁撒克逊人交战。如果彗星预告灾厄，那么这场战争是那一方的不幸呢？



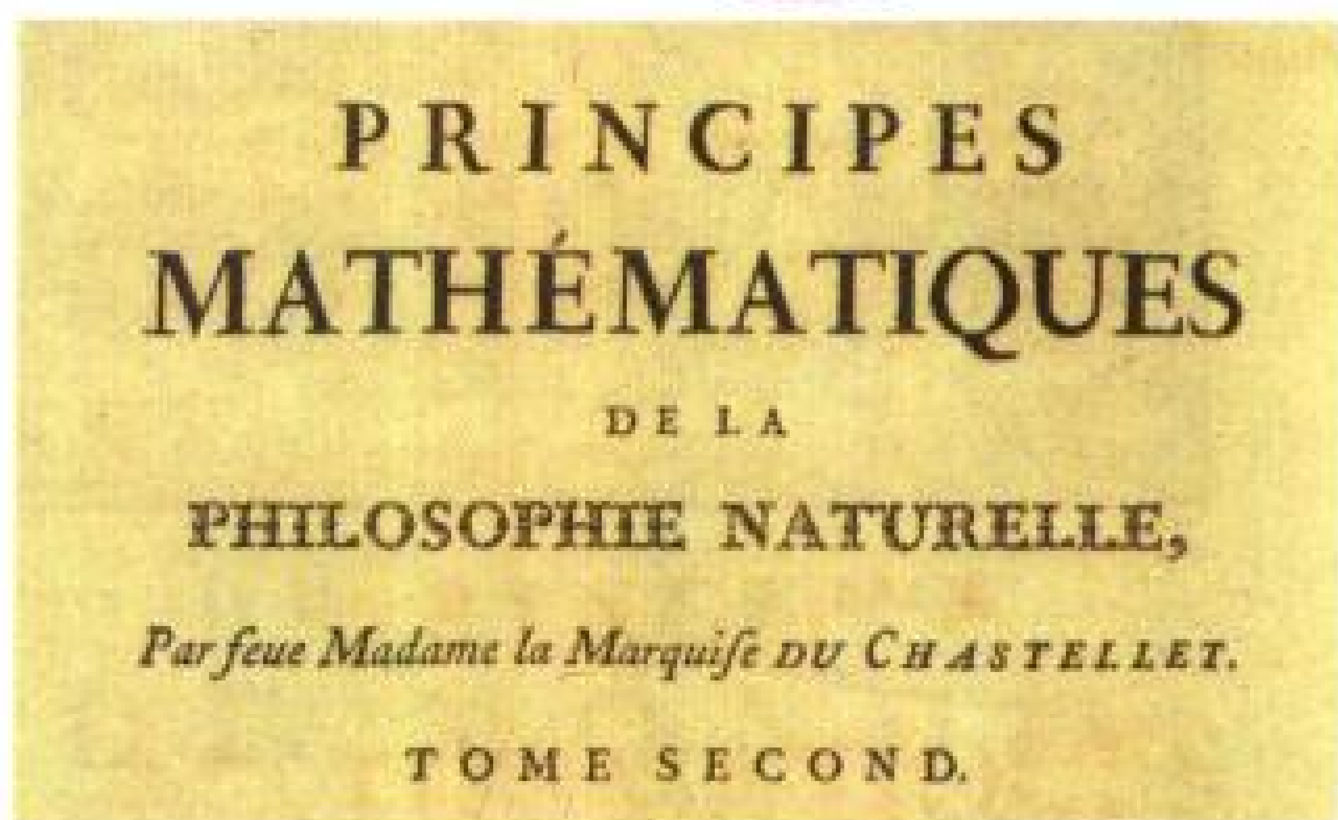

DÉCEPTION.



N° 6. — La jolie Comète ne connait plus rien depuis tantôt 75 ans, aussi la Ville de Paris s'empressera de lui montrer les *Grands Magasins du Bon Marché*, dont une visite incognito lui dévoilera les merveilles.

见所谓“牛顿思想”获得证实？在欧洲，支持牛顿学说的人知道，计算难免会有误差，担心哈雷的计算会出差错。于是，他们斟酌着：是不是该用比较精确仔细的方法，重新计算一次？克莱罗果真付诸行动。




PRINCIPES
MATHÉMATIQUES
DE LA
PHILOSOPHIE NATURELLE,
Par feue Madame la Marquise DU CHASTELLET.
TOME SECOND.

克莱罗向来捍卫牛顿学说不遗余力，从拉普兰测量考察回来以后，他的声望水涨船高，而他更加支持牛顿了。从 1745 年起的三年里，他忙着《原理》的法文版编订出版事宜。夏特莱夫人（Mme du Châtelet）也来帮忙，她是克莱罗的好朋友，也是伏尔泰的情人。当伏尔泰因《英格兰书简》惹了麻烦时，他就躲在夏特莱夫人的住处。

克莱罗在《原理》法文版的注释里，特别提到哈雷所说的，1758 年彗星将要再访的预言。1757 年，克莱罗决定重新验证哈雷所做的计算。这一次，他把好几颗行星的运动可能造成的影响都考虑进去了，而他所用的计算法，是过去八年来，他经过多次天文学相关研究验算出来的。

“真理就这样成立，
就这样彰显其道，
获得美的赞同，
而无人能置一辞。”
这首诗是献给夏特莱夫人的。看来，1745 年时，有人把牛顿理论当作真理，而且早就认识到女人的内涵也是一种美——聪明的女子岂会丑陋。

克莱罗埋首于“一个极为冗长”的计算中

这时代当然还没有电子计算机，但是他们有勒波特（Hortense Lepaute）。勒波特小姐一辈子与数字为伍，俨然就是巴黎天文台的计算机。克莱罗把计算工作交给她和助手负责，两人整整忙了六个月。

勒波特还有桩轶事。事情是这样的。1761 年，有位法国天文学家勒·让蒂（Le Gentil）前往印度，去观

察金星从太阳表面经过的情形。金星从太阳表面经过的现象,每一百年只会发生两次,其间相隔八年。

由于法国和英国之间争战不休,勒·让蒂不巧错过了1761年金星通过的时间。他决定就在印度等,等到下一次金星再通过太阳表面。到了1769年6月,天气本来一直都很好,但金星通过那晚竟是一片乌云。勒·让蒂失望透顶。

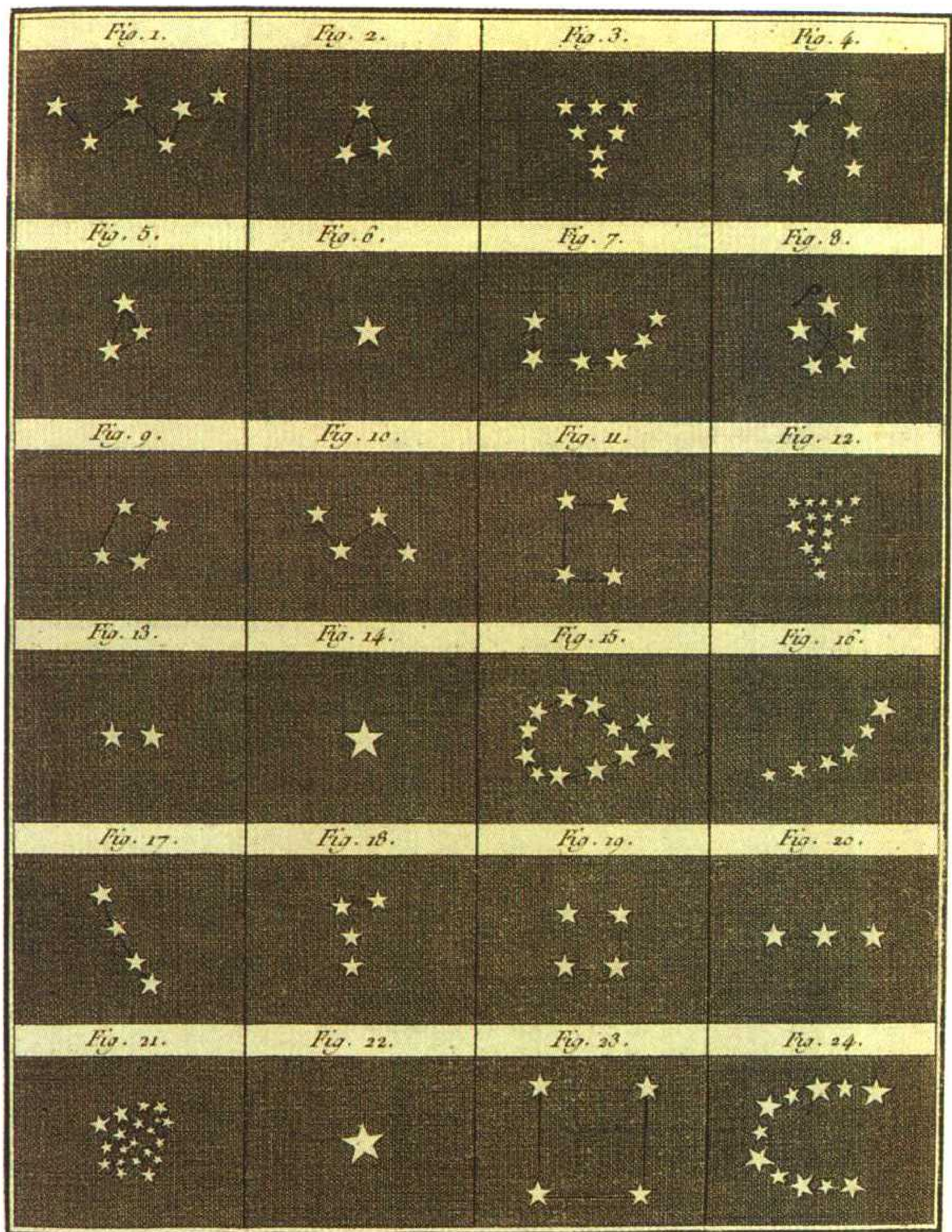
1771年,勒·让蒂回到法国,得知自己已被官方认定是死亡,他原先在科学院的职位也被替代了。屋

梅西尔(Charles Messier)这幅版画里,画出了1759年哈雷彗星重返时,两种可能的轨道。梅西尔的《星云实录》很有名,不仅画下星体,也画出星团和星云。现在把仙女座星云叫"M31","M"就是梅西尔名字的第一个字母。



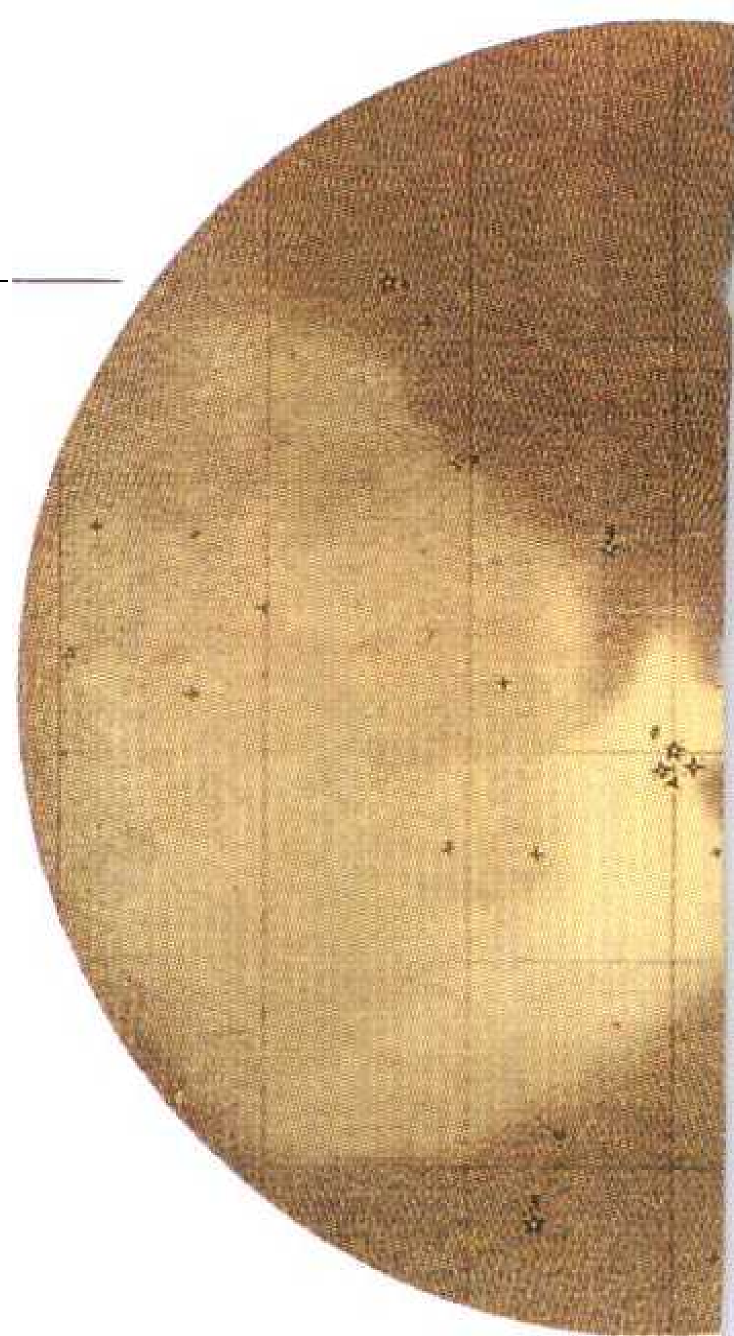






和克莱罗水火不容，批评他时毫不留余地。再来就是勒·莫尼埃，两人本是在拉普兰工作时的伙伴，后来演变成死对头，越来越恶毒。到后来，大家谈起克莱罗的成就时，多少总有不公正的评语。渐渐地，讨论彗星时，也不太提牛顿理论了。

后来，拉卡耶建议，把这颗彗星叫做哈雷彗星——今日也就沿用了。1835、1910 和 1986 年，哈雷彗星都准时再现。哈雷在 1705 年时这样写："如果 1758 年时它果然再现，那么后代的人将会记得，发现这颗彗星的功劳，要归给一个英国人。"



画星体的方法也在改变。1774 年，赫歇耳把猎户座大星云画下来时，他已经尽全力重现物镜里的景象了（上图）。那是模糊不清的景象，所以赫歇耳叫它"nebula"，这字在英文里是"暧昧不清"的意思。后来他把这类的星象都叫做"nebula"。这种现象是星系里的气体集结成云块的状态，所以中文译成星云。在古代的人眼中，星星是形状清楚的——左图这幅复制的星座图出自 18 世纪的人之手，图里的星星有五个尖尖的突出点。

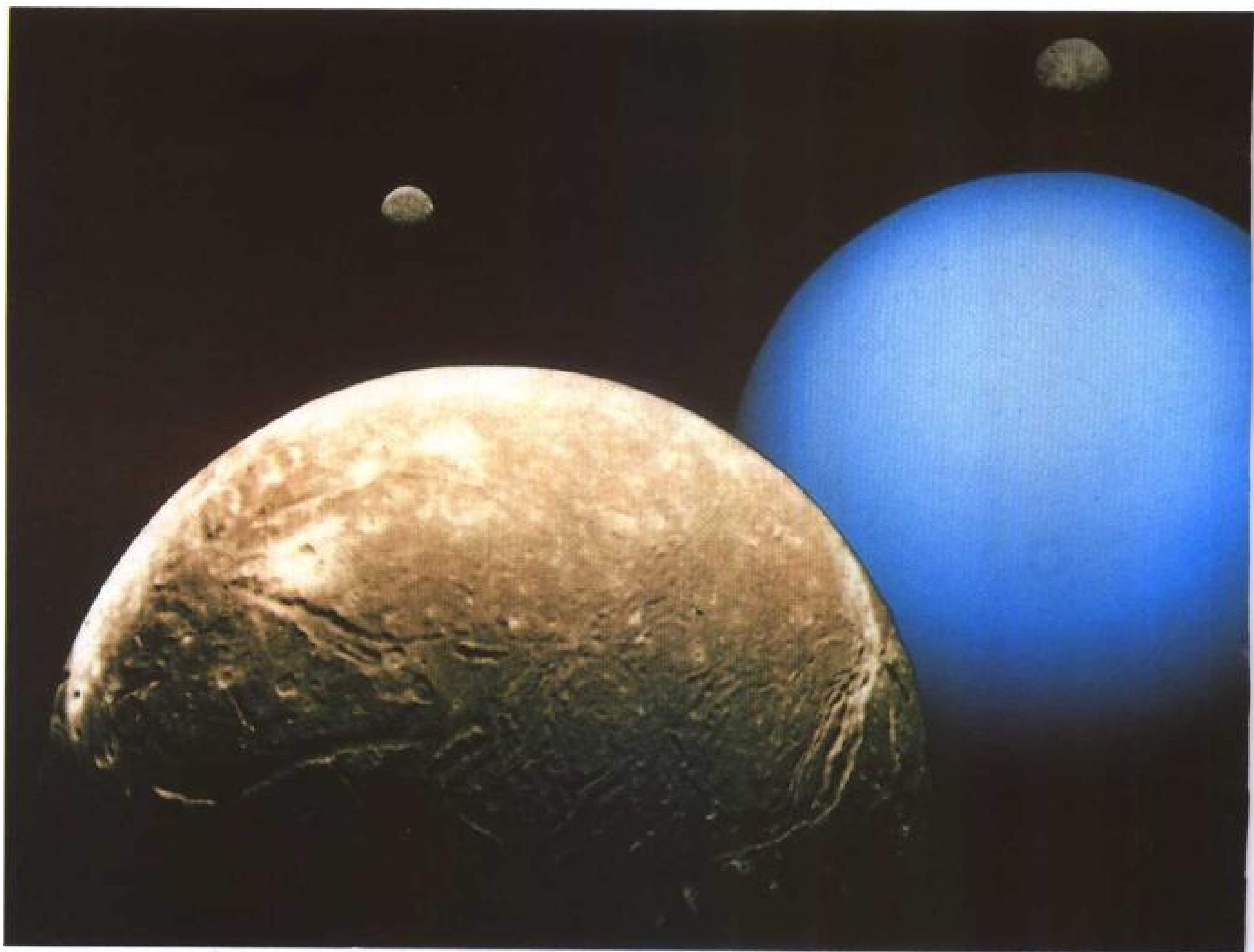


摄影技术在19世纪末问世，这可帮了天文学家大忙。如果没有摄影术，真不知以前的人要怎么获得左图猎户座的图像？伽利略用他小小的望远镜，其实看到了很多颗猎户座上的星，只是他没办法——画下来。猎户座并不在我们的银河系里，而是在银河系的一支螺旋臂上，从那个方向延伸出去，是有几十万颗星的。左页这幅图所取得的区域，当然比梅西尔的图更大。左边两块块点状的物体，就是大星云。右边有三颗几乎在一线上的星，就是猎户座的"腰带"，最上方那颗被另一块雾状的物体遮住了，所以看不清楚。这些云状的气态物体，由于内部星体的亮度而熠熠发光。若能仔细研究星云，可以知道宇宙的身世，更可以晓得星星孕育和成长的过程。

二十年后，另外一位英国人发现另一颗彗星…嗯…至少他以为那是颗彗星

赫歇耳(William Herschel)是业余天文学家，本来以音乐为正职，在德国军队的乐团里待过。后来，他到了一个英国的温泉小镇，巴斯(Bath)，在这儿，当小教堂的管风琴师。以上是他白天的工作。

一到夜晚，他就是天文学家；如果天色昏暗，他便是一个光学家——他望远镜的镜片是自己切割玻璃，



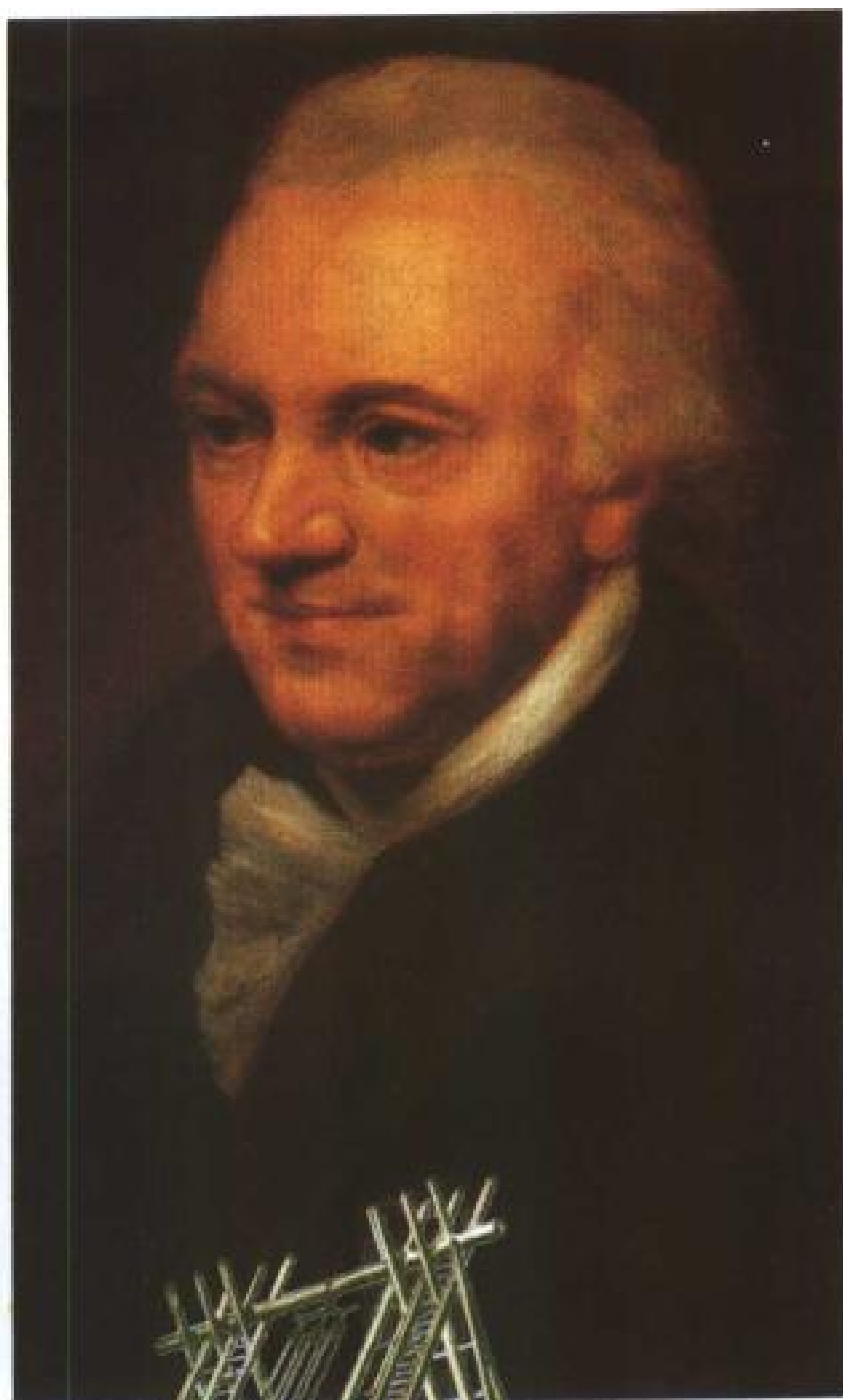
削磨制成的。他拥有两百多片光学镜片！妹妹卡罗琳(Caroline)帮助赫歇耳把观星心得整理出来。他编纂目录，把双星、有色星和星云分门别类列出来。1774年，他发现猎户座大星云。现代天文物理学家说，猎户座星云是孵育新星的地方。

他就这样有系统地探索星空。有一回，他看到了一个奇怪的物体。1781年3月13日，他在记事本上写道："一颗奇怪的星云星星，可能是一颗彗星。"接下来的几天晚上，那物体移动了。赫歇耳相信，他发现了一颗彗星。4月26日，他给皇家学会写了一篇报告，题名为《关于一颗彗星》。

一颗新的彗星？全欧洲的天文学家很好奇，为什

赫歇耳（右页右上图）用他的望远镜（右页下图）看到天王星，然而也只是一个小而模糊的光点罢了。"旅行者二号"太空探测器拍摄到天王星——尽管是近距离摄得的，仍然无从得知天王星的细节。天王星外围有一层厚厚的大气，卫星则没有。



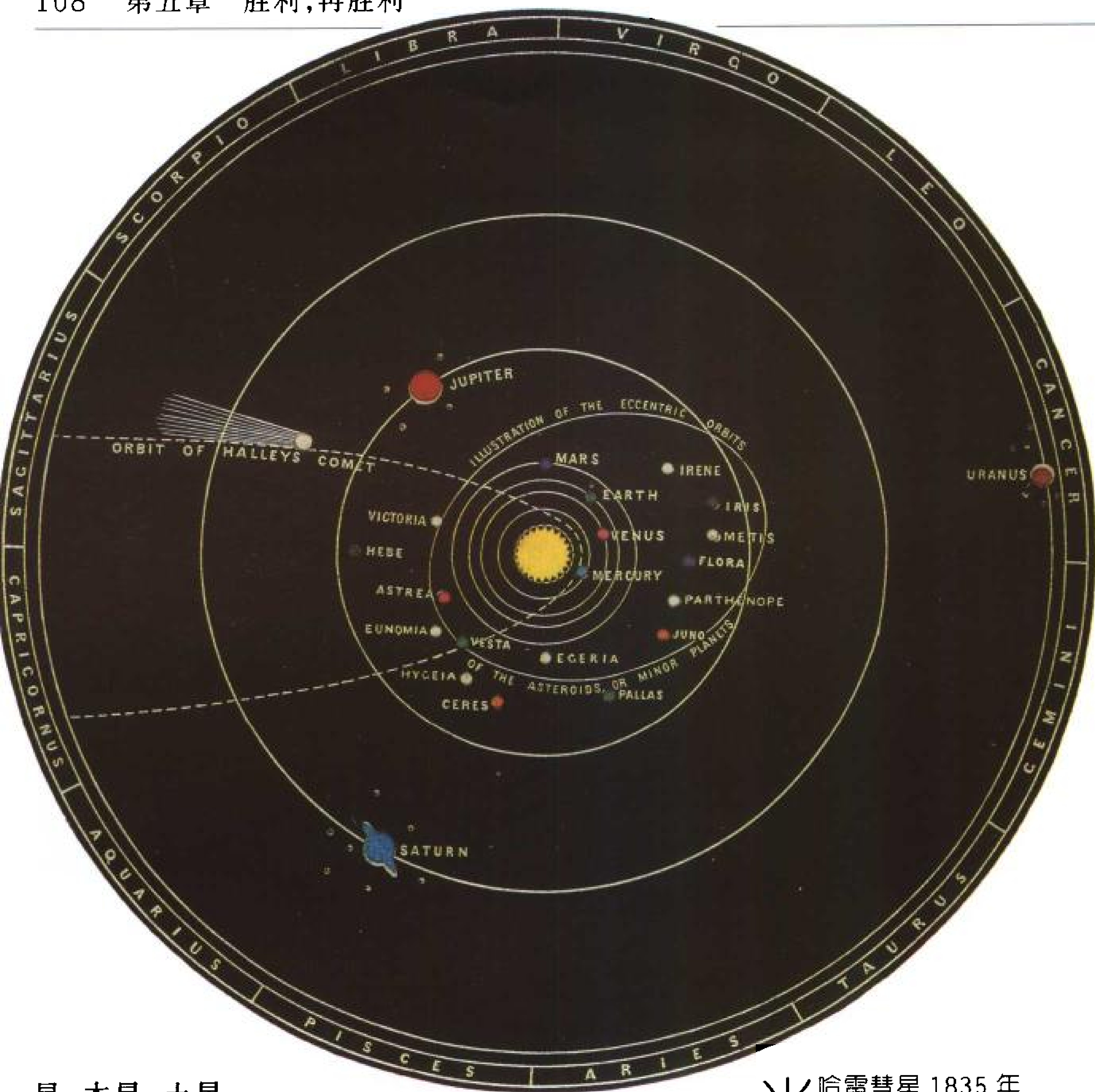


么新彗星的椭圆轨道竟如此长。几个月苦苦追究，但他们是白费力气了，不得不承认事实：此星以接近圆形的轨道绕着太阳运转，轨道比土星大两倍，它是一颗行星。

太阳有第七颗行星！一颗奇怪的星

从远古时代以来，大家都以为太阳只有五颗行星（当然，地球除外）：水星、金星、火





星、木星、土星。

所以，发现了一颗新行星，

大家的直觉反应，是以为发现了第二个月亮！

如何称呼这颗行星？法国人建议，就简单点，叫它赫歇耳吧。而赫歇耳本人则说，用国王的名字，称呼它为乔治好了；当今国王乔治三世（King George III），前阵子给了他宫廷天文学家的职位。

最后，德国天文学家博德（Johann E. Bode）建议，还是沿袭命名的传统，选个神话里的人物吧。大

当哈雷彗星1835年通过时，天文学家所认识的太阳系，就像上面这幅轨迹图。最外围是天王星，海王星还不知在何处。由于天王星的运动很“不守规则”，所以天文学家猜测，有另一颗不知在何处的行星，它的运动会影响到天王星。

家同意了。这颗新的行星叫做天王星(Ouranos),在古希腊神话中,它代表"天"。一时之间,天王星成了欧洲人的最爱。几年后,发现了一种新的金属,称为铀(uranium),也是由这个典故而来。

然而,这颗新行星所行却不按牌理出牌。天王星近乎是符合牛顿定律的;而这个"近乎",足以证实牛顿定律。1821年,当各个行星运动的一览表出版时,天王星"不守规则"的个性就很明显了。

自从1782年发现了天王星,到这个时候已快40年了,它居然还没有走完轨道的一半:天王星要84个地球年才能绕太阳一周。然而,奇怪的很,现存的文献之中,有关天王星的观察,最早的可以追溯到1690年!事实上,许多天文学家已从望远镜看到这一颗"星",但是,第二天之后,他们就懒得在同一个位置上再找一找这颗星星。勒·莫尼耶就是一个例子。

勒·莫尼耶曾经在12次不同的情况下,观察到天王星。但是他从来没有料到,他和克莱罗伯仲之间的天文学成就,本来可以有不一样的结果;如果他多多关心望远镜那端的星……

有份1821年的资料,提供了若干星体的位置,是在三个连续的轨道上发现的。这些星体位置的情形颇特殊,即使把太阳和其他行星的引力都考虑进去了,它们还是不完全符合牛顿定律。所以,1821年出版的一览表,就没有把赫歇耳的发现(1781)以前的数据算进去,而只根据1781年以后的观察来计算轨道。

到了1845年,这颗行星已经离一览表所预测的位置有2分弧差距了。显然一览表有差错。除非是牛顿定律有缺陷,否则,天王星在太阳和太阳系已知天体的引力之外,一定还受到另外一个行星的引力作

勒·福里埃20岁那年,就发表了一篇天文学论述。他后来研究了天王星的运动,还当上巴黎天文台的台长。



用。这颗行星一定是未知的,而且应该离得非常远。从这些“不规则”出发,然后把牛顿定律“反过来”用,可不可以找出那颗“有罪的”星呢?

理论上是可以的,但是这会动用非常可怕的计算,比从前克莱罗为哈雷所做的还要吓人。



“先生,你指出的那颗行星,真的存在”

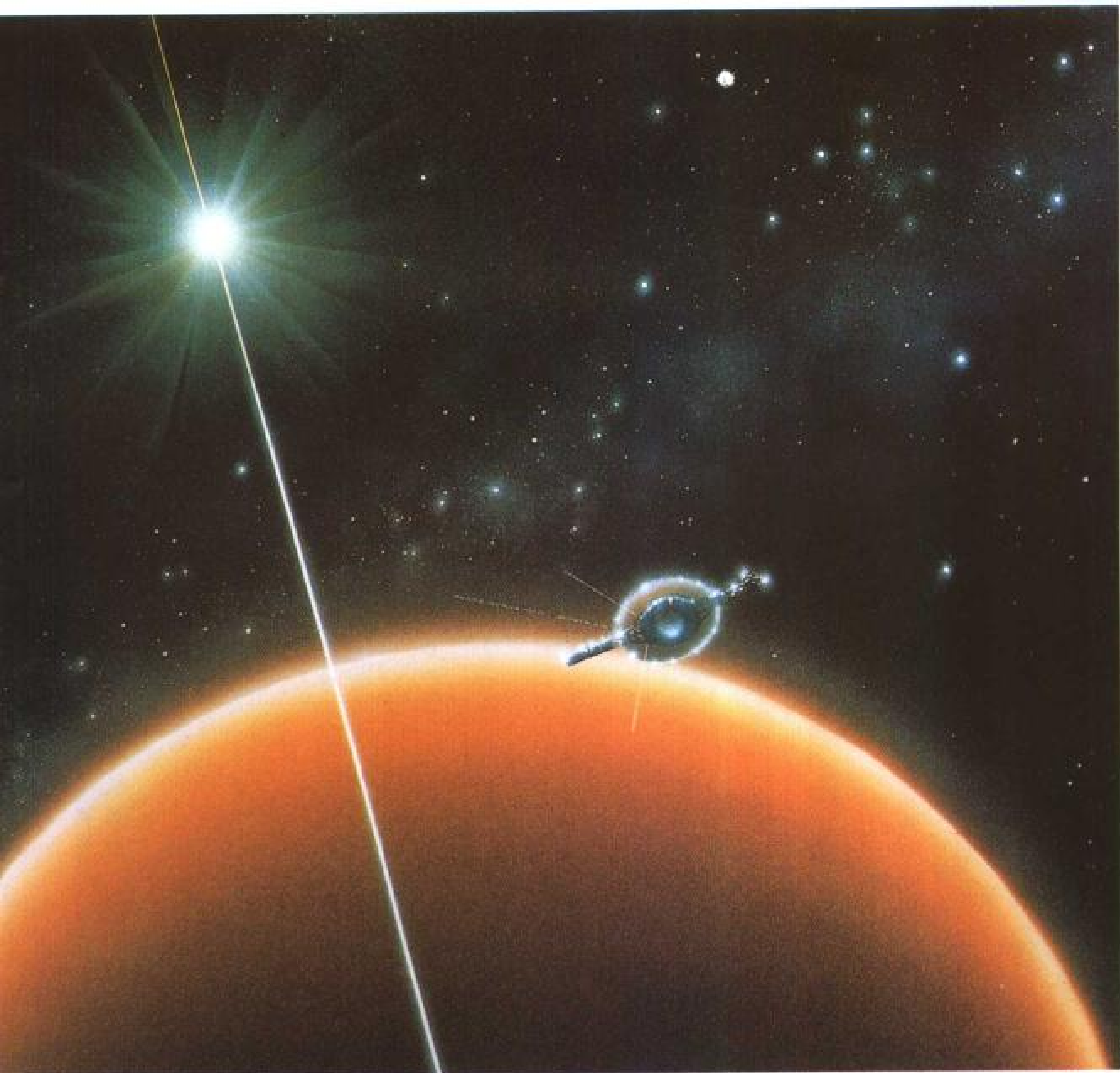
1845 年,英国的亚当斯 (Adams) 和法国的勒·福里埃(Urbain Le Verrier),各自花了一年在计算。亚当斯开始得早,也先有结果出来。他写信给几个英国人,请他们帮他观察,看看那颗遥远的未知的行星,是不是就在他推算出来的位置上。亚当斯刚刚满 25 岁,还是个大学生,收到他信的英国人,没有空理他。

勒·福里埃则已经是个有名的天文学家了,当他把计算结果告诉柏林天文台的加勒(Galle)时,加勒马上支起望远镜——就在这天晚上,他真的发现一颗星。几天前才出版了最新的星图,没有这颗星……

1846 年 9 月底从柏林来消息:“……那颗行星,真的存在。”勒·福里埃一辈子没听过这么棒的消息。这颗行星,就是海王星。勒·福里埃的发现一公布,英国人才察觉,亚当斯早在几周之前,就已预测出来,几乎是在同一个位置上,有颗行星!

究竟是勒·福里埃或是亚当斯先发现的,其实无关紧要。重要的是这两人推算出来的,几乎是同一个位置;也就在这位置上,发现了一颗新的行星。

到了 1845 年,不再有人怀疑牛顿定律在太阳系的力学地位了。想想,这定律能够预测,在某处有一颗从来没有人知道的行星,而前后两次,预测完全准确。这是牛顿的两次大胜利。从 1666“神奇年”至此



180 年，伍尔斯索普的苹果树已开花结果；而且，一百年以后，在太阳系中还发现了新的星体。

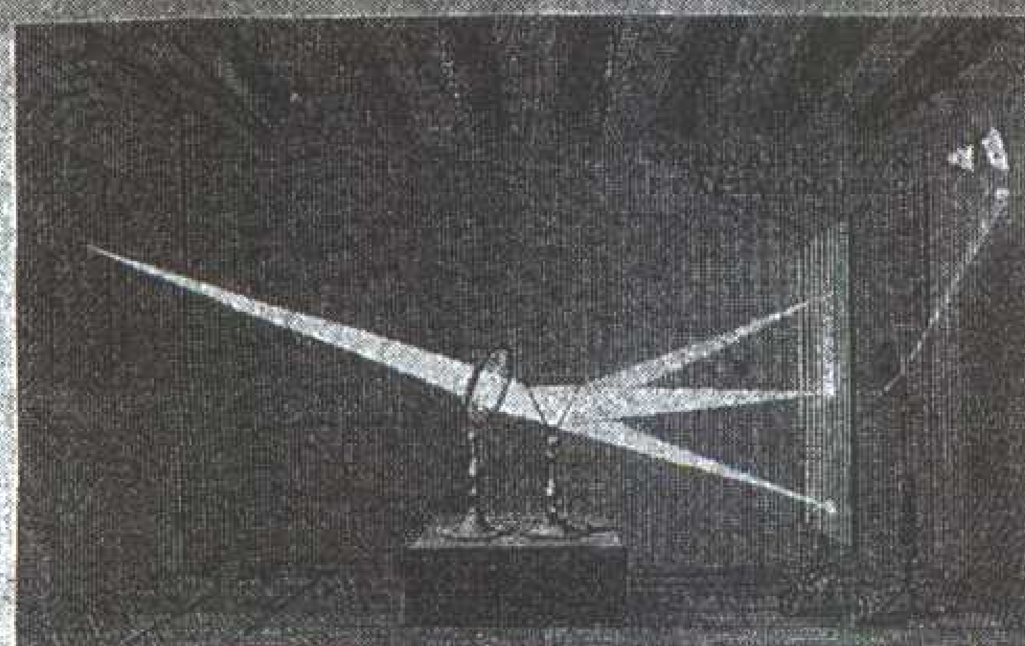
1986 年，欧洲太空中心派出“吉奥托”(Giotto) 太空船，来到距离哈雷彗星不过几千米的地方。1989 年，美国的“旅行者”号太空船，接连观察了木星、土星和天王星之后，来到离海王星几千千米的地方。

当然，这些太空船的所走的轨道，是用电脑计算出来的，比勒波特小姐的脑子快几十亿倍。但是他们计算所依据的定律都一样：牛顿定律。

太空人会在太空飘浮，太空船能飞出地球，在太空里快速飞行，来到土星附近，都是牛顿定律带来的成果。由于地球的引力作用，太空人能保持在轨道上；“旅行者”受到土星引力的作用，通过土星后，加快速度，前往更远处的天王星。



见证与文献



TRAITÉ
D'OPTIQUE,
SUR
LA LUMIERE
ET LES COULEURS.

LIVRE PREMIER.

PREMIERE PARTIE.



MON desſein dans cet Ouvrage, n'eſt pas d'expliquer les proprietés de la Lumiere par des Hypotheſes ; mais de les expoſer nuëment pour les prouver par le raiſonnement, & par des Experiences. Dans cette vûë je vas commencer par propoſer les Definitions & les Axiomes ſuivants.

A

站在巨人的肩上

1675年底，牛顿写了封长信给皇家学会。他在信里谈到一些有关光的实验。这时候，霍克大约已晓得，他与牛顿之间的不愉快，很可能是奥登堡从中捣蛋。于是霍克想和牛顿私下通信。

霍克的建议，只换来牛顿一封回信，情况并没有改变太多。牛顿在信里，坦然承认自己欠笛卡尔和霍克一份情："如果我看得比较远，那是因为我站在巨人的肩上。"

霍克给牛顿的信

给我最敬爱的朋友

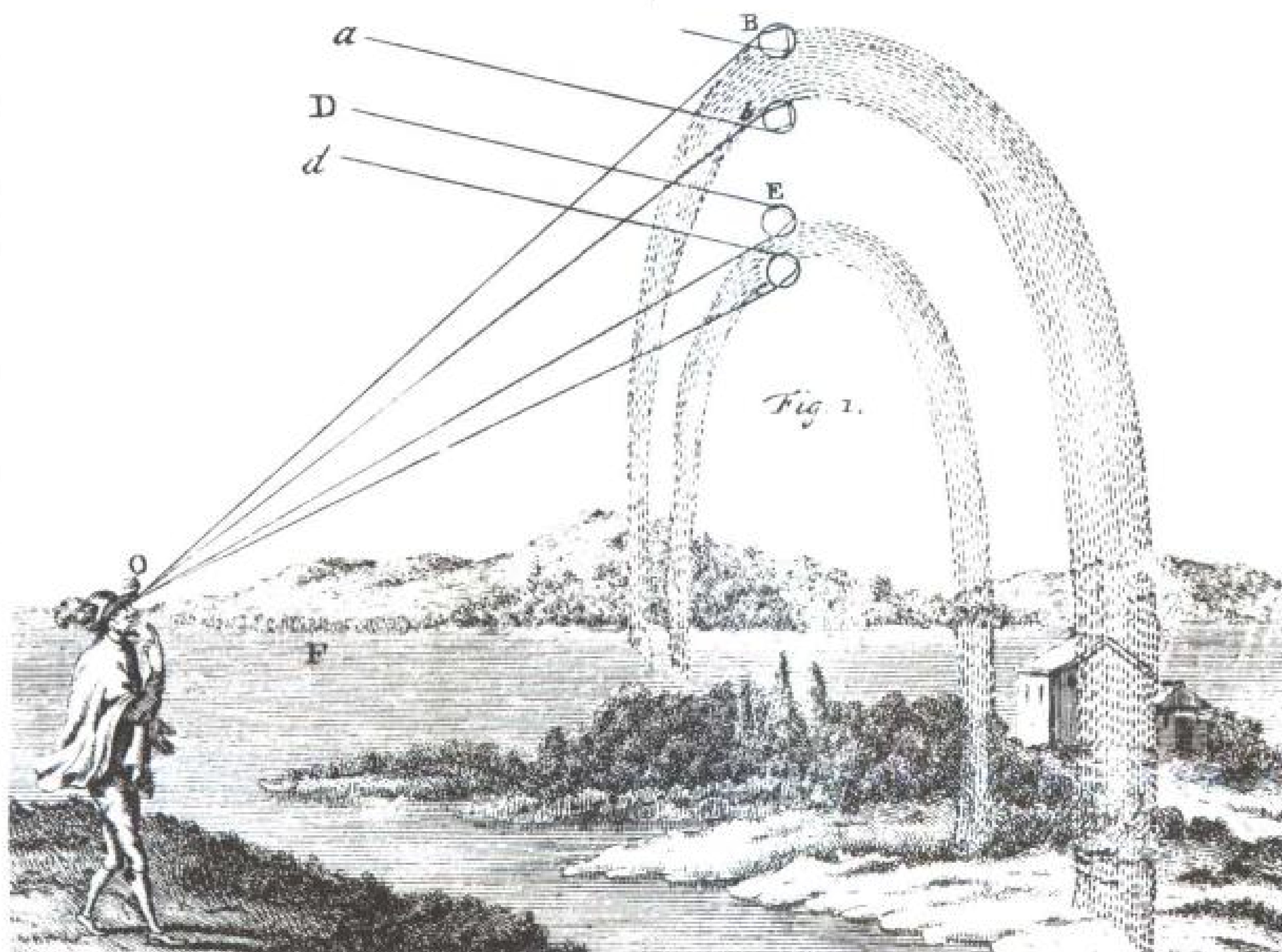
牛顿

剑桥，三一学院

1676年1月2日

先生：

上周在皇家学会开会时，拜读了您的信。我不禁觉得，您显然并



不理解我的问题；再怎么说，我都已经是这种恶行的受害者了。所以，非常冒昧地——其实也还说得过去——来向您谈谈我自己。

首先，我要澄清一点：任何公开的辩论、争吵和论战，都不是我愿意见到的。若有人硬要这么做，我可能就会卷入一场争论之中。其次我要告诉您，我渴望寻得真理，同时也乐意采纳别人所发现的真理——即使别人所谓的真理，与我当下认为是事实的基本知识大相抵触。

您的那些实验证明，我是以公允的态度来给予评价的。长久以来，我一直做着一些研究，但没有时间钻研到底；今日见有人把它做出来了，而且改进了，我真的非常高兴。

在我看来，在这些问题上，您的表现是遥遥领先我的。没有什么问题是您无法解答的；而且，依我看，这个问题也只有您才配回答。由您来研究我年轻时所探讨的问题，那真是绰绰有余。

如果我能从繁忙的冗务中抽身，我确是想自己做那些实验的。但即使我做了，也一定不及您的成就。

我想，您也和我一样，希望找到真理。同时，我相信我们也都能接受不同的意见——只要这些异议不带敌意。我们在心理上都有准备，一旦由实验和论证中获得明确的推断，就一定会接纳所得到的结果。

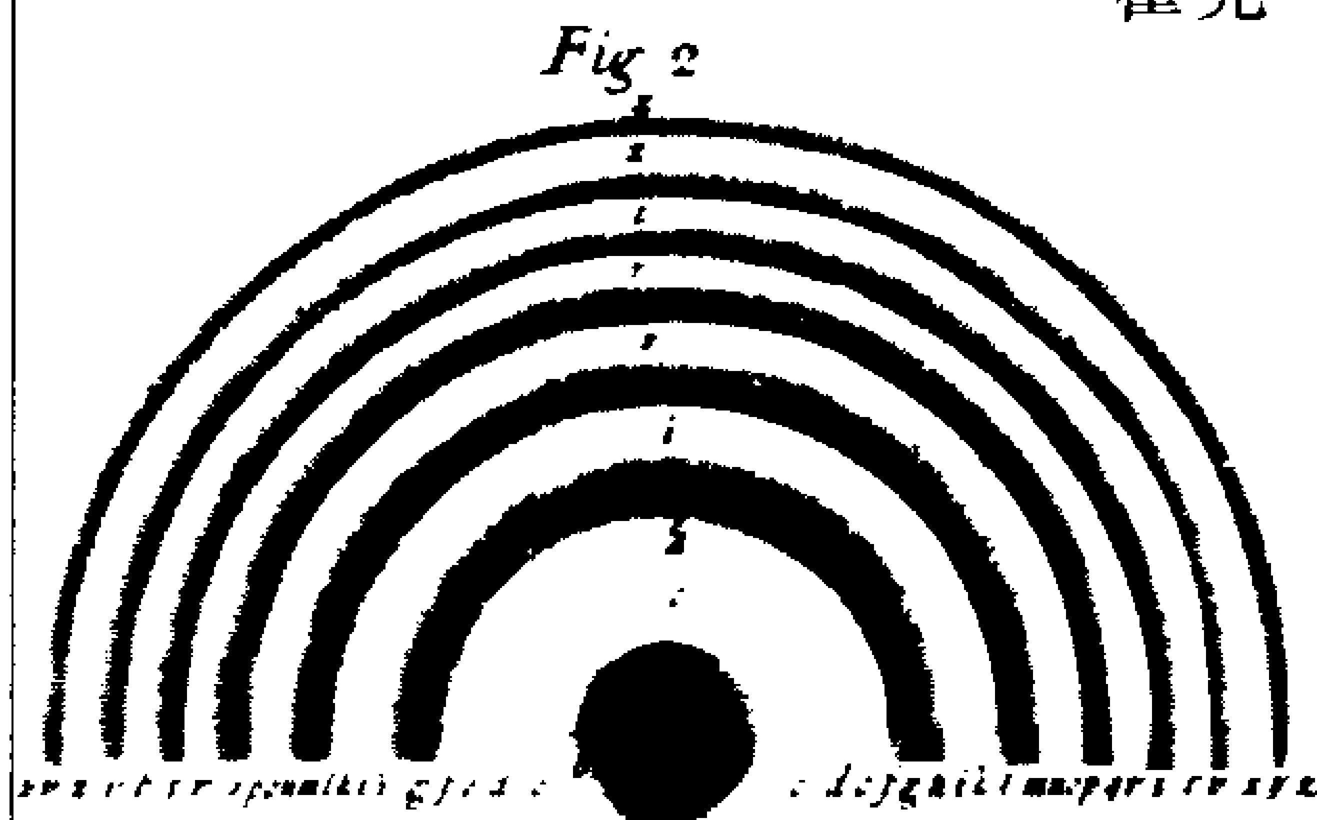
所以，如果您愿意和我私下通信，多多讨论这个实验，我会非常高兴。

我想要仔细读一读您那篇论文(上次是听别人念的，念得很快，我并不是完全理解了)。读后如果我有异议，我打算把意见寄去给您；而如果我被说服了，那么我就会寄上我的赞同。对我来说，这种讨论形式好像比另一种更理智一些。

两个同样强悍的对手碰撞了，可能会产生光；若被其他物体推动了，则可能产生热——而这热很容易点燃火药。

先生，我衷心希望，您能原谅我的坦率，请务必包涵。

霍克



牛顿以图来描述光与颜色的原理。

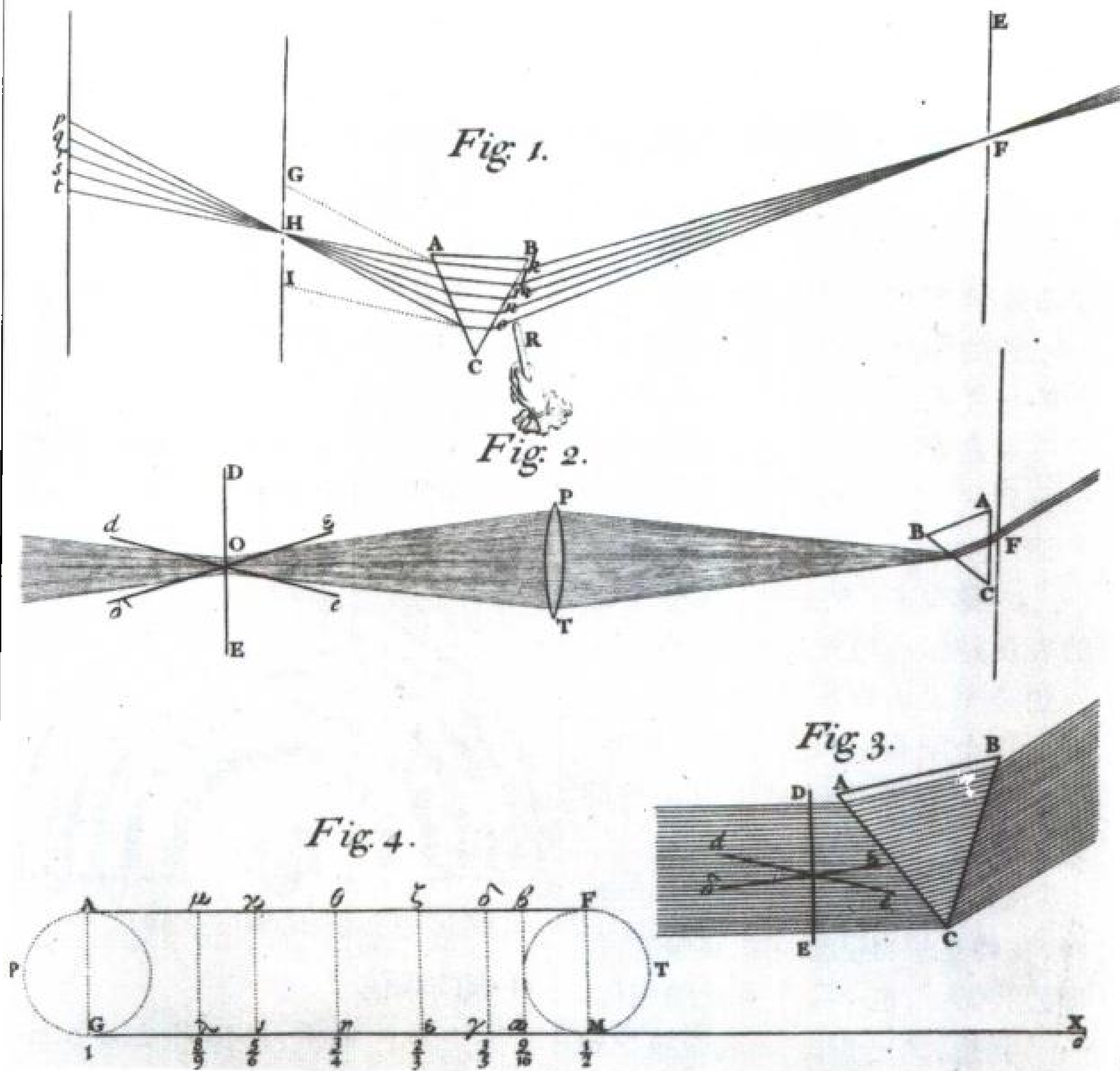
牛顿的回信

剑桥，1676 年 2 月 5 日

先生：

来信收悉。您所表现的泱泱君子风度令人深感欣喜。您的态度果真是秉持着真正的哲学精神。

每逢提到哲学议题，我最害怕的就是论战；在出版刊物上打笔仗尤其让我惧怕。所以，我很高兴接受您的建议，以信件来讨论。在有许多听众的场合，很少能做到纯然为真理而来，多半还带有其他用心。但是朋友私下的交流就不一样了，通常可以就事论事而不为竞争；我希望和您之间也能如此。



您的任何意见我都欢迎——尽管为此事我已心力交瘁，然而若要研究这问题，我找不到比您更适合的人选来切磋了；过去没有这么一个对此课题有兴趣的人，未来恐怕也难得。再说，您的意见来得又强烈又迅速，而所说的也都合情合理。我很愿意效法您的态度。

如果拙作让您感到我太自以

为是,或认为我的论点失之偏颇,请在信中指明。此外,希望您能明白,我尽管热爱哲学,但是不致于为了哲学,就置公平和友谊于不顾。

在某些主题上,您的见解比我高明许多。笛卡尔是开路先锋,而您加了许多东西进来,比方您把色彩的研究提升到哲学的层次。如果我看得比较远,那是因为我站在巨人的肩上。

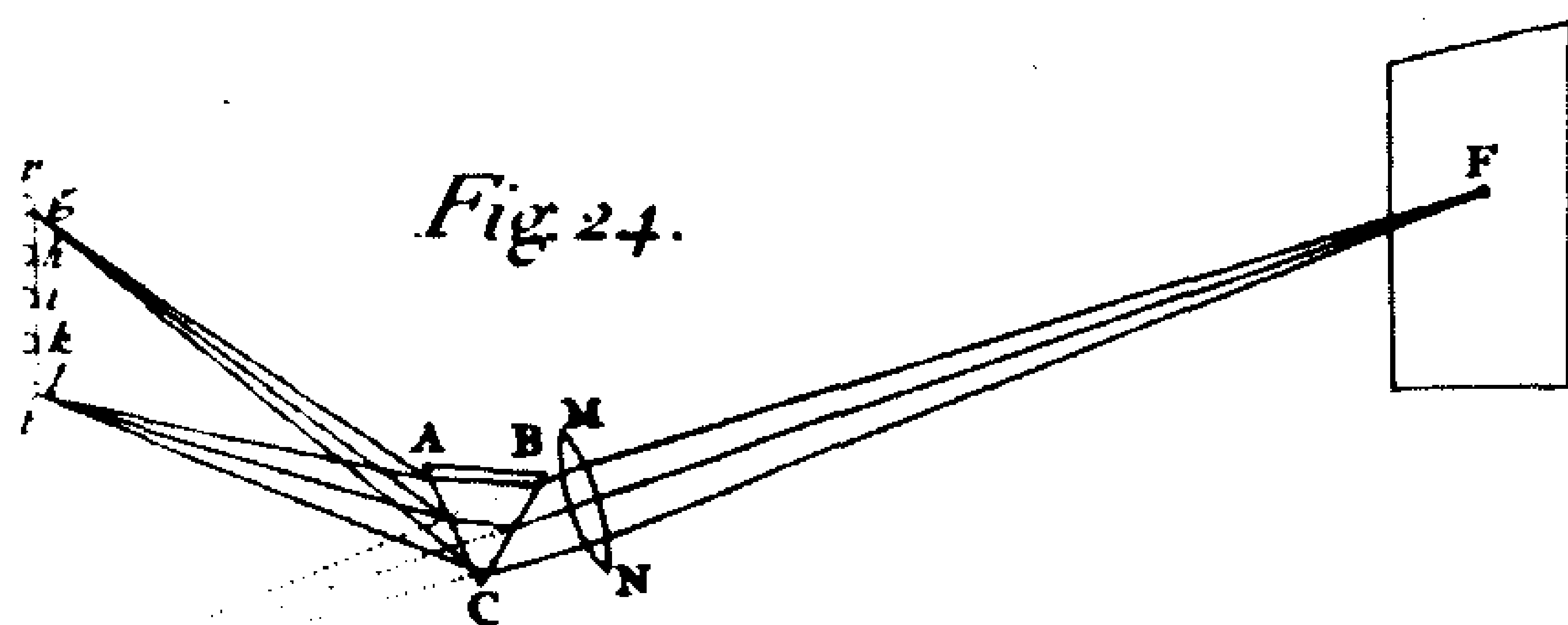
我相信,您一定还处理过好几个重大的实验;其中有一些可能和我在上篇文章提到的实验很类似。我知道,至少有两个是您做过的。一个是当斜视杯子时,会看见有色光环扩大。另一个是两块凸透镜接触时,以及在一颗水珠的顶端,可以观察到一个黑斑点。

可能您有别的观察是我没做过的。所以,我的确是该向您表示仰慕之意的,一如您对我表达了恭维;况且,您是在百忙之中抽空关注此事的,我实在是不应该了。

换个话题吧。您的来信给了我发问的机会。你曾建议我,去观察一颗星星从天顶经过的情况。我离开伦敦的时间,比预定时间早几天,因为我正巧要去新市(Newmarket)探望朋友,所以错失良机,没能当面向您请教。我动身前一两天,去过您府上,但您不在。因此,如果您还希望我继续做那个观察,就请您赐信吧。

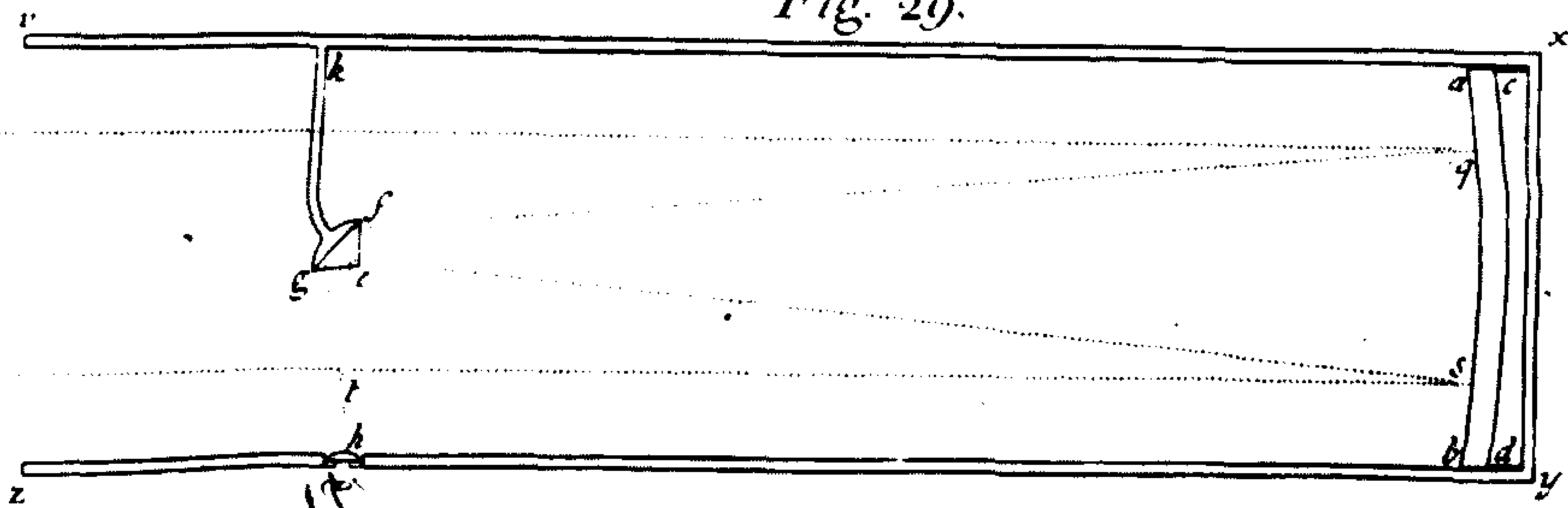
您谦卑的仆人

牛顿





《光学》里的插图,解释光的折射现象。



拉普兰日记

莫佩尔蒂队里的乌蒂埃神父，担任绘制地图和其他图画的工作。此外，由于他把探险经过详细写在日记里，而且后来把日记出版了，所以他等于是拉普兰科学探险的记事员。乌蒂埃的《1736 至 37 年的北地之旅日志》，记下了探险队的工作经过和生活点滴。由以下的摘录可以看出来，他们 1737 年春天做测试时，是非常仔细的。

《1736 至 37 年的北地之旅日志》

乌蒂埃先生是贝尚松(Besançon)教区的教士，皇家科学院的通讯员。他这份日志是1744年出版的。

观察所得，复活节期

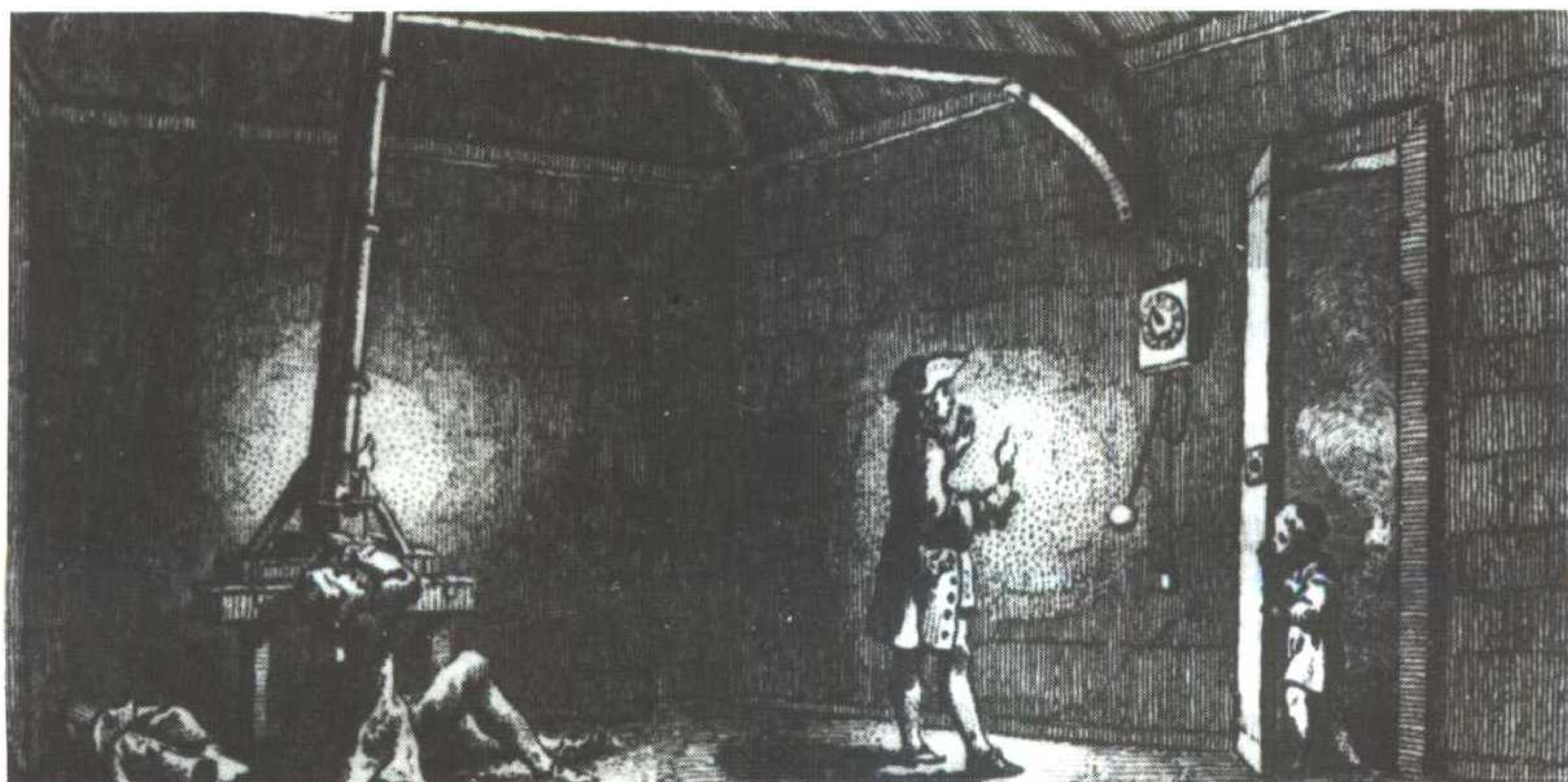
莫佩尔蒂先生从佩洛 (Pello) 回来以后，马上开始做测量。他观察木质仪器在冷、热不同的情况下，长度和伸缩程度的变化。

在复活节那一星期里，我们观察到磁针偏转了35°5′左右。我们到达斯德哥尔摩之前，在波罗的海上也做过同一种测量，得到的数字差不多。

核验子午面的方向，5 月 24 日

〔…〕10点10分。天完全黑了。太阳落下之前，我们来到斯温札尔山。(Swentzar)的最高处，用象限仪

〈测量子午线弧长〉





观察了太阳和地平线，以及太阳和卡卡马（Kakama）观察标之间的夹角。同时，我们用一座钟来读秒。这座钟离卡卡马标很近，放在一幢原本用来养牲口和放草料的空房子里。一夜无事。

翌日早晨，我们测量太阳（刚刚升起）和卡卡马标的夹角。从这些观察，我们就可以知道：我们现在要测的三角形区域相对于子午线的方向，与我们在佩洛所测到的方向不一样，差了几分。

一开始大家觉得惊讶，然后想起来，基蒂斯和托尼亚不在同一条子午线上；然而由于我们所在的位置很北边，这两地所处的子午线已经朝极地曲折了。

克莱罗很快就算出这两条线的差距。把这个差距算进去之后，我们发现：基蒂斯三角组的方向，与托尼亚三角组的方向，差了大约半分。

极圈一度子午弧长

为了尽可能精确量出子午线弧的长度，有三点必须事先避免。第一，恒星的运动（如果恒星自身就有运动，也必须考虑进去）；第二，这些恒星发出的光，可能会造成偏差；第三，在分度盘的 5½°上，弧长少了 3¾秒 。

格拉翰早就知道了弧长不对的事，也告诉了莫佩尔蒂，莫佩尔蒂于是急着要做实验，以确定是不是真的这样。他赶着要在5月3、4、5、6几天里做这实验。5月4日，我们在结了冰的河面上丈量。〔……〕

卡穆把扇形测量器放在他房里。我们测量了两座山间的夹角，〔…〕两山相距 380 丈 1 尺 3 寸（约 695 米），是扇面的半径长。另外，〔…〕两处的距离是 36 尺 6 寸 6⅔ 分（约 66 米），这是切线长。

我们五人分别做了测量，量定这两地间的夹角。所得结果的差距，不超过 2″。取了五个数值的平均值之后，得出两地夹角是 5°29′48″95。根据计算，这个夹角应该是 5°29′50″。也就是说，观察所得的数字，比计算所得少了 1 又 1/20″。

这个数值关系重大。为了这个观测，卡穆在分度盘上拉了一条线，用来标示刻度。他另外又拉了一条线；就用这两条线，我们一度一度检验刻度是不是正确。

里歇在卡宴

1672年，里歇在卡宴设立了一座天文台，这是第一座在热带地区设立的天文观测台。里歇在这儿测量地球到火星的距离，他并且累积了数量惊人的观察记录。这些观察是很难在高纬度地区做到的，有关太阳和水星的观察尤其困难。

以下摘录的文章，是里歇的一些观察。从文中可以知道，天文学测量在那时候能够多精确；也可看出来，里歇很想在自己的钟和星体运动之间找出关联。里歇这份期待，让他发现了单摆运动的不规律性质。

里歇的物理和天文测量
第五篇
记于清晨

在卡宴，〔…〕太阳上升之前45分钟，以及太阳下山后45分钟，我都还能阅读。由此可知，太阳在这儿的折射程度，与在法国是大致相同的。

这点可以从另一件事获得证实：在这儿，若想使用长镜头望远镜看清楚远方的物体，镜筒拉开的长度，和在巴黎是一样的。

有件事颇让我操心。我来的任务之一，是要观察水星的运动。我们对水星运动方式知道得不多，而在欧洲地区，不容易看到水星，即使看见了，它也贴着地平线。

我观察到水星三次了。不过，因云、因霭、因雨等因素，我想多观察几次却未果。

只要情况允许，我一定会在做笔记录时，把这些现象记下来。这样子可以方便日后的判断，知道我做观察的那些时候，水星在什么位置。

八分仪就放在子午线的面上。〔…〕它位于地平线圈内，和真正的

子午线差39″,所在纬度53°44′45″。

1672年9月12日，太阳的西侧穿过地平线圈——不出我所料，非常接近子午面——时间是11时58分28秒。而东侧通过此圈的时间，是12时0分36秒。太阳中心通过时，是11时59分32秒。同一天里，用八分仪测得太阳北端的子午线高度，是89°28′15″。

9月12日晚上，水星出现在西方。从象限仪两条垂直线截出的面上，我量得水星的纬度：15°56′30″；时间是6时23分15秒。

象限仪在地平线圈保持不动。室女星座的角宿一(l'Epy de la Vierge) 通过前述象限仪上的两线截面。位置是子午高度7°20′0″。



为了了解计时器和太阳暨各星体运动之间的关系，我做了以下的观测。

1672年9月12日晚上，有一颗记为贝鲁斯E(Baïérus E) 的恒星(位于水瓶座右方)，在9时2分40秒通过子午线。隔天晚上，13日，这颗星在8时58分37秒通过子午线。

9月14日。八分仪设置的方式如前所述。太阳的西侧接触到八分仪所在的地平线圈，时间是11时57分18秒。东侧在11时59分26秒通过。所以，太阳中心在11时58分22秒通过子午线，此时北端子午高度是72°41′10″。

14日晚上，室女座的角宿一穿过地平线圈。象限仪就在这地平线圈内。分度盘上两条垂直线相交处。角宿一的位置：10°30′0″;时间，6时46分33秒。

水星随后穿过地平线圈内；通过前述角宿一所经过的位置。纬度是9°37′10″,时间，6时47分35秒。

太阳两侧通过地平线圈的路径，指出了做这观察的时间，也指出了时钟必须调整的程度。

里歇

《在卡宴所做的天文和物理观察》

丰特内勒论牛顿

牛顿1699年当选为法兰西科学院的院士,所以,1727年他去世,科学院的秘书丰特内勒致了追悼词——任何院士都可享有这份殊荣。在悼词里,丰特内勒先简单回顾了牛顿的成长过程,然后细细叙述他的研究成绩(讲光学的部分似乎太多,而讲重力的少了些)。最后,丰特内勒形容了牛顿的外形和心理特征。



立在伦敦西敏寺的牛顿墓碑。

〔…〕他中等身材,晚年稍稍发福,眼睛炯炯有神,而目光敏锐;容貌和蔼可亲,而且令人望之肃然起敬。当他脱掉假发时,可以看到他一头又白又浓密的头发。他从没戴过眼镜,一生中只掉了一颗牙。他的名声响亮,所以我们愿意说说这些细节。

他生性温柔,且特别爱静。他宁可不为人知,也不希望那些自以为博学机智的文人,前来打扰他的生活。从他那些经常来往的信件,我们可以看到,他正准备把光学论文交去印刷时,有一些无的放矢的反对意见冒出来,他竟放弃了出版计划。

他说:"我怪自己。为了跟在一个阴影后面奔跑,我失去了平静;而平静是多么真实的事物。"然而,这个阴影后来没有放过他;阴影并没有使他

失去他所钟爱的平静。事实上,这个阴影后来也和平静一样真实了。

天生温柔的性格,通常也伴随着谦逊。果然,在牛顿身上,他的谦逊一直不变;尽管大家同谋反对。他从不谈论自己,也不轻蔑地议论别人。那些心怀恶意的人,找不到牛顿任何话柄;他一点都不虚荣。

事实上,牛顿根本不需要谈论他自己。可是,这世上有多少人,不懂得保持沉默。〔…〕有多少大人物,本是受人敬重的,却因为自夸而毁了别人给予的赞赏。

他生活简朴,待人和气,生活方式和一般人并无二致。第一等的天才从来不看轻任何人;反倒是有些人目空一切,连比自己高的人都看不起。即使名声远播,即使成就显赫,他也从不认为自己就不必担负日常生活里的责任。

他没有任何怪癖,生来不具,后天亦未受污染;有关日常必需品,他从来就以一介平民自居。

尽管他属于英国国教,但他没有逼迫非国教的教徒,非要信从国教不可。他以行为来判断人。在他看来,真正不信奉英国国教的人,是生性邪恶的人。这并不表示他是自然神论者。他相信天启。在他手头一直拿着的各种书籍中,他读得最认真的,便是《圣经》。

他很富有,这是由一笔家产和他的职位所带来的。加上他生活又很简朴,他可就更富有了。他因着富有,于是多多行善。

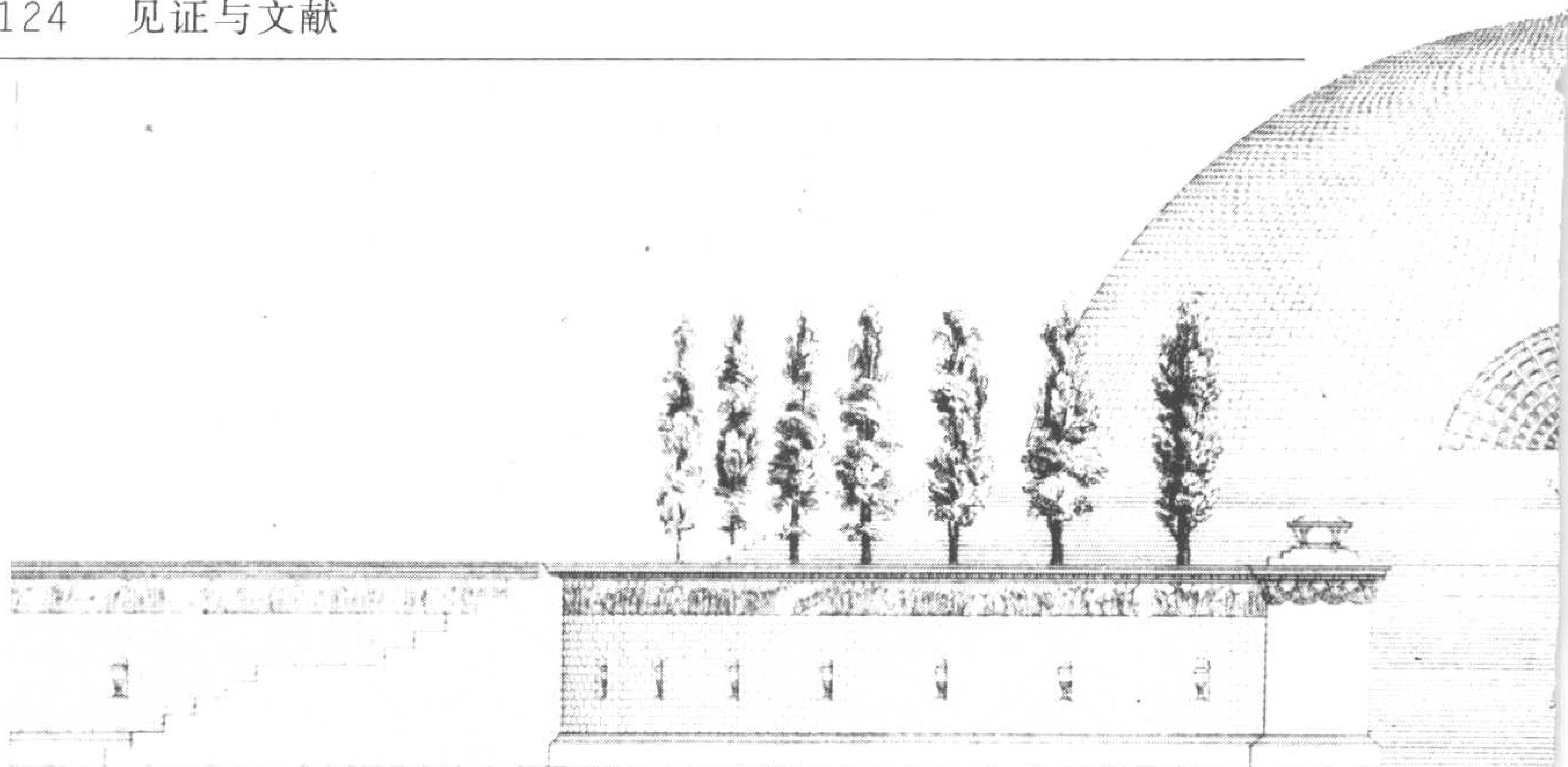
然而,他并不认为,惟有通过遗嘱所给的,才是真正的付出,所以他不立遗嘱。但是,在他每次对亲戚或有需求的人慷慨解囊时,他都失去不少。不管是赒济穷人也好,接济亲友也好,都不是只那么一次两次而已;而他给的数目,也总是很可观的。

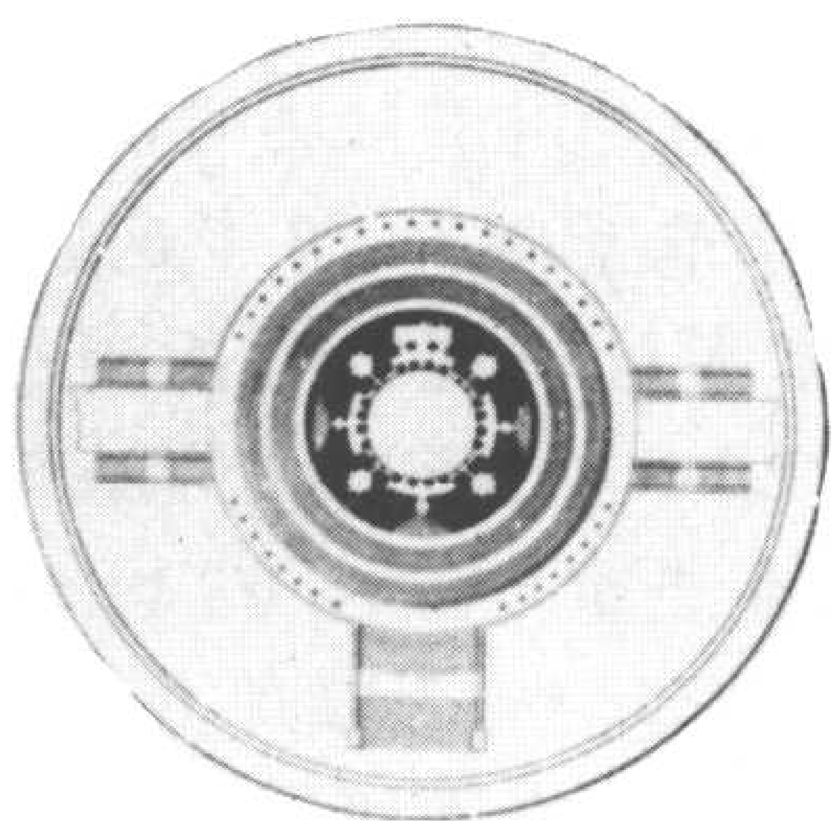
当礼数要求他在某些情况下破费时,或是要讲讲排场时,他也显得很大方,非常阔气。除了这些以外,其他别人可能视为理所当然的花费,他却小心得很,认为钱该省下来,用在更重要的地方。想来奇特,一颗习于思考,全以理性看事情的心灵,竟然也会有属于世俗的慷慨。

他没有结婚,可能他根本就没空去想这件事。首先,在壮年时,他就沉浸在一些又深入又持久的研究中。后来,他又担任一个重要职务,而他始终勤于思考。就是这个思考让他既没有空闲,也没有需要,去渴望家庭生活。

他留下了差不多32,000英镑的钱。莱布尼兹去世时也很富有,尽管比牛顿少,也还是留下了一笔数目可观的积蓄。这两个外国人是罕见的典范,很值得我们永远怀念。

丰特内勒





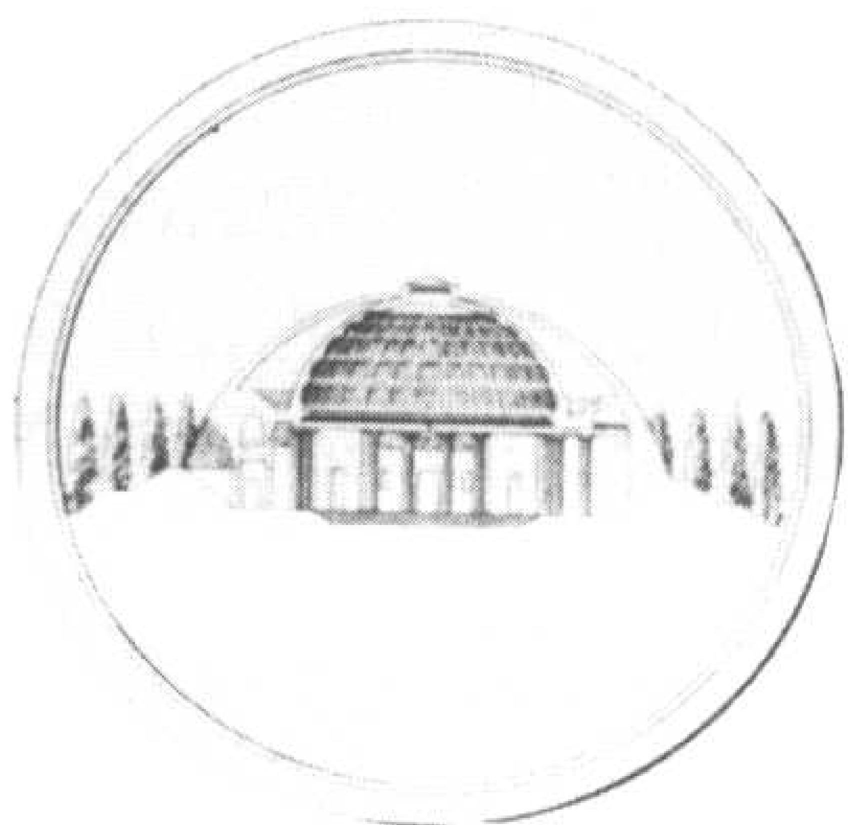


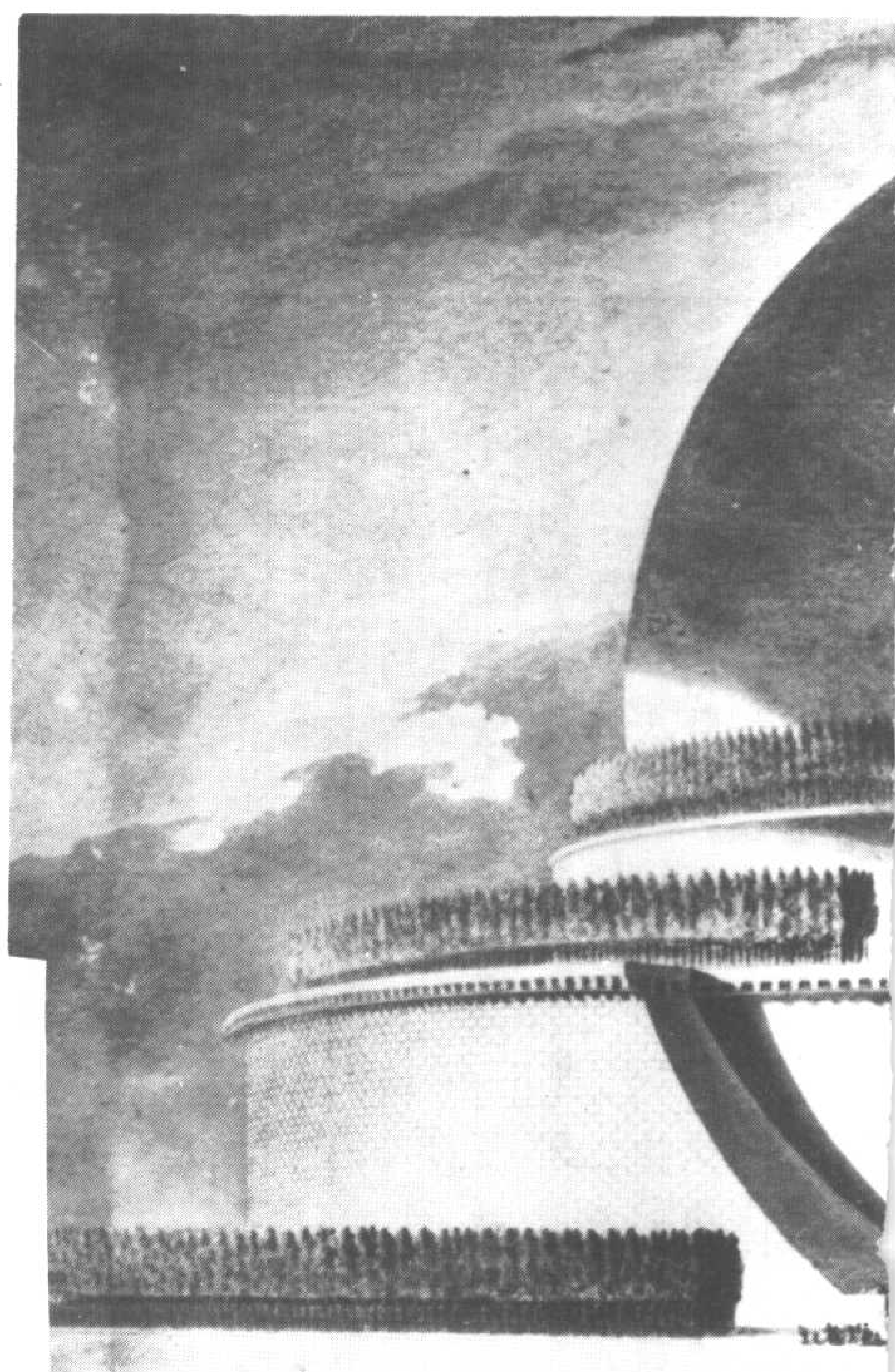
TOMBEAU A ERIGER A NEWTON

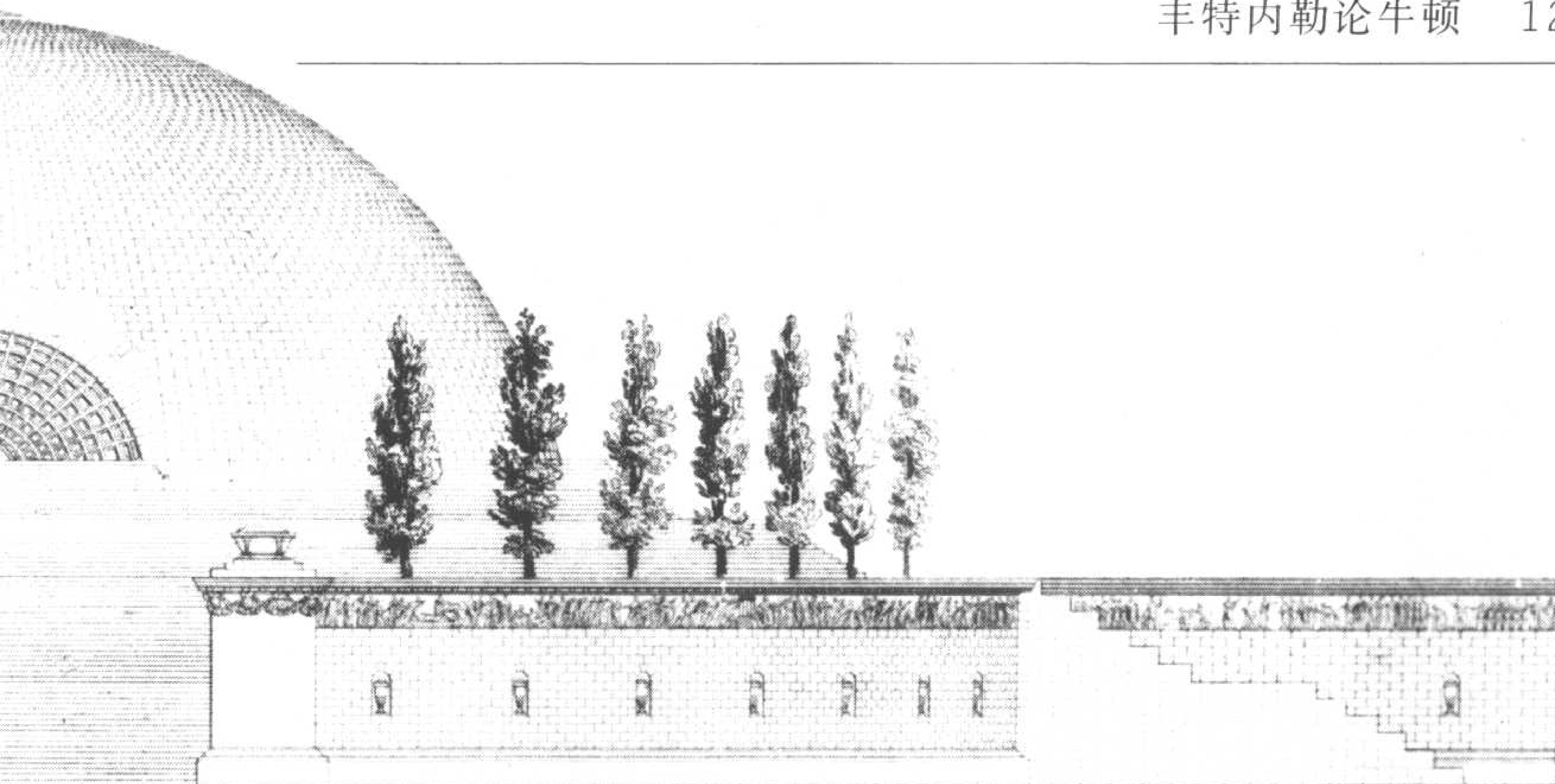
1er PRIX OBTENU EN L'AN MDCCLXXXV A L'ACADEMIE ROYALE D'ARCHITECTURE

PAR PIERRE JULES DELESPINE.









这两页是牛顿纪念馆的设计图，由 18 世纪两位建筑师所画。后来都没有建成。

法国文人伏尔泰看牛顿与笛卡尔

在《英格兰书简》的第14封信里，伏尔泰描写了他眼中的牛顿与笛卡尔，把两人的生活习性以及成就表现，做了一番比较。这是两种不同的生命方式。伏尔泰向来欣赏英国，又曾经避难于此，对于这个有情在先，有恩于后的国家，自是毫不保留地赞赏了。英国人奉为民族英雄的牛顿，伏尔泰当然是崇敬有加。至于英国人不愿置一辞的笛卡尔，伏尔泰倒也有话要说。

第14封信

一个初到伦敦来的法国人，发现这儿的事物很不一样；自然哲学也大异其趣。这位法国人离开的那个世界，原是充实的；现在他发现那个世界空无一物。巴黎人眼中的宇宙，是由看不见的物质所组成的；伦敦人根本不这么想。我们法国人说，海水的潮汐是由于月亮的压力作用而致；英国人认为，由于重力的作用，所以海水朝月亮而去。所以，我们以为月亮该给个涨潮时，英国绅士说，来的会是低潮。可惜无法查证谁对谁错——若真要检验，应当是要回到天地初创的时刻。

再说太阳吧。在法国，太阳仿佛是无足轻重的；在这儿，太阳的影响力很大。对于服膺笛卡尔学说的人来说，那推动天地万物的驱力，是难以理解的；牛顿先生认为，重力是万物运动之原动力，而造成重力的原因是什么，倒还少有人知道。

在巴黎时，你以为地球长得像一颗哈密瓜；到伦敦来，他们告诉你，地球在两端是扁进去的。笛卡尔信徒以为，光存在于空气之中；牛顿支持者相信，光是从太阳那儿，旅行了6分半钟之后才来到这儿。你们的化学实验是酸加碱加其他；英国的化学由重力支配。

事物的本质迥然不同。在精神与物质的定义上，两方意见分歧。笛

卡尔宣称,灵魂即思想;洛克则根本持相反意见。笛卡尔说,空间产生物质;牛顿加上实体。对比真是强烈。

你们之间的争执,与我们无关。

这个牛顿,这个摧毁笛卡尔体系的牛顿,去年,1727 年,3 月里去世了。他生时受到同胞尊敬,死时国人以厚礼葬之,仿佛一位受臣民爱戴的国王。丰特内勒先生为牛顿献上追悼词;这儿的人急着把悼词译成英文,争相传阅。还没阅读之前,伦敦人以为,丰特内勒必然判定英国自然哲学是更胜一筹的。孰知,他竟拿笛卡尔来相提并论。伦敦皇家学会里群情沸腾,不同意丰特内勒的看法。有些人(没有科学精神的那些)甚至光因为笛卡尔是法国人,就期期以为不可将他与牛顿并列。

其实,平心而论,这两人在行为上,财力上,哲学上是非常不同的。

笛卡尔生来就有丰富而生动的想像力,这想像力使他的推理方式非常特别,也使他的私生活别具一格。在他的哲学论述里,想像力无处不在,俯拾即是天才般的妙喻。他很可以当一位诗人。他曾为瑞典女王写了首打趣的诗,后来为了敬重他的记忆,就不把诗印出来。

他早先想以军人为职业,后来成了不折不扣的哲学家,而他并不认为,哲学家就不应该碰男女之事。他的情妇为他生了个女儿,叫法兰欣(Francine),不幸早夭。笛卡尔很是伤心。哲学家也有凡人的经历。

笛卡尔向来认为,必须避开人群,尤其要避开自己国家的人,这样才能获得自由,得以在自由之中思考。他是对的;那个时代的人知识有限得很,却强要启发他;我看差一点毁了他。

他为了寻找真理,所以离开法国——在法国,真理受到学院的迫害。他躲到荷兰,发现这儿的大学里也没有多少理性。在法国时,他最受非难的,是他认为最真的想法。

到了荷兰,自以为已成一家之言的荷兰哲学家,不见得更懂他,然而,见他离荣耀更近了,竟然恨起他这个人了。笛卡尔不得不离开乌特列什(Utrecht)。他们说笛卡尔是无神论者——笛卡尔竭尽心思,努力寻找证明,以确定上帝果真存在,而他们说,笛卡尔心中无神。

迫害既多,适足以证明笛卡尔的美德与盛名。理性毕竟是穿过了学院的黑暗,以及迷信的偏见,在世上微微露出光芒了。

笛卡尔出名了,法国人就想贿赂他:给他 1,000 枚金币,请他回国。笛卡尔信以为真,于是先花自己的钱买了一个特许权状。没想到法国人最后并没有给他钱。笛卡尔黯

然回到荷兰北部。这个时候,伟大的伽利略,已是八十高龄的老者,由于发表了地球运动的方式,竟遭宗教制裁所判入监狱。笛卡尔死在斯德哥尔摩,由于饮食不良而英年早逝。他死时,身旁是敌视他的几个科学家,而照顾他的医生也是恨他的。

牛顿爵士的境遇完全不同。他活了85岁,一生平静幸福,受国人敬重。他的幸福不仅是因为他生在一个自由的国家,也因为这时候的英国,学院的言论不再浮夸,理性受到重视。全社会是牛顿的学生,而不与他为敌。

牛顿与笛卡尔有一点非常不一样。牛顿毕生不近女色,既无对女性的激情,亦无软弱之处。这是牛顿临死时,在他身边的大夫亲口说的。我们可以赞赏牛顿这一点,但也不必因此责备笛卡尔。

英国人说,笛卡尔是梦想家,而牛顿是智者。

伦敦这儿的人不太读笛卡尔的东西;说实话,笛卡尔的著述已经过时了。他们也不太读牛顿;要懂牛顿的想法需要先读很多书。可是大家都谈牛顿和笛卡尔,而把好话都拿来说牛顿。

有人说,我们不再相信"真空是恐怖的",我们已知道空气也有重量,我们有望远镜可以用,这些都归功于牛顿。牛顿是寓言里的大力神赫克力士;无知的人不识其他英雄,以为所有的功绩都该归给赫克力士。

伦敦有人批评丰特内勒那篇致牛顿悼词时,竟然说笛卡尔算不上是个伟大的数学家。说这种话的人,是得了便宜还卖乖。就数学研究的成就来说,笛卡尔不遑多让;就牛顿最得意的成绩来说,他还是笛卡尔之后的。笛卡尔是第一个用几何等式来说明曲线的数学家。他的数学现在已是必备常识了,但在他提出时,由于太深奥了,竟然没有一个教授胆敢加以阐释。懂他数学的,大约只有荷兰的舒登(Schooten),以及法国的费尔马(Fermat)两人。

笛卡尔把他治数学和做发明的精神,拿来研究曲光学(Dioptrique)。曲光学因笛卡尔而成为一门新技术。虽说笛卡尔在曲光学上是犯了些错,但不足为怪——发现一块新领域的人,怎么可能一下子就全盘掌握呢?跟随笛卡尔之后的人,在这片领地上培养出沃土,至少要感谢笛卡尔发现新地。我不否认,笛卡尔在其他许多工作上是错误百出的。

几何学(数学)是一种向导,而笛卡尔多少促成了它,并且让它把自己引向物理学的研究。但是,笛卡尔最后抛开了这向导,而进入一个固定的系统。自此而后,笛卡尔哲学像是本精妙的小说,只有无知的人才会相信它是真的。笛卡尔对于灵

魂之本质的描述，是错误的；证明上帝存在的说法是错的；关于物质、动力定律、光之本质的解释是错误的。笛卡尔接受天生的观念，发明新元素，创造了一个世界，依照自己的思辨方式来解释“人”是什么。可以这么说，笛卡尔所描述的“人”，只是笛卡尔式的人，而完全不是真正的人。

他在形而上学的错误简直离谱：二加二等于四，因为上帝的意思就是如此。但是，笛卡尔即使犯错了，也仍然值得尊敬——这么说并不过分。笛卡尔是错了，但至少他是依循方法，遵从逻辑的。

两千多年来，年轻人信以为真的一些荒谬想法，被笛卡尔摧毁了。笛卡尔教人用理性来思考，用自己的武器来保护自己。笛卡尔给的钱不多，但好歹不是假钞。

老实说，我实在不敢拿笛卡尔与牛顿来比；笛卡尔是一篇散文，牛顿则是一部巨著。然而，送我们走上真理之路的人，与陪我们走完真理之路的人，两者可能一样重要。

笛卡尔赐盲者以光，让人看见古代的缺失和笛卡尔的不足。他所开辟的道路是无以测量的。那本〔…〕小书一度是物理学的完整手册；今日，全欧洲学院的著作加起来，也无法造成一个体系。愈是进入深渊，愈发现它是无限的。我们就看看牛顿先生，在这缝隙上挖出什么了。

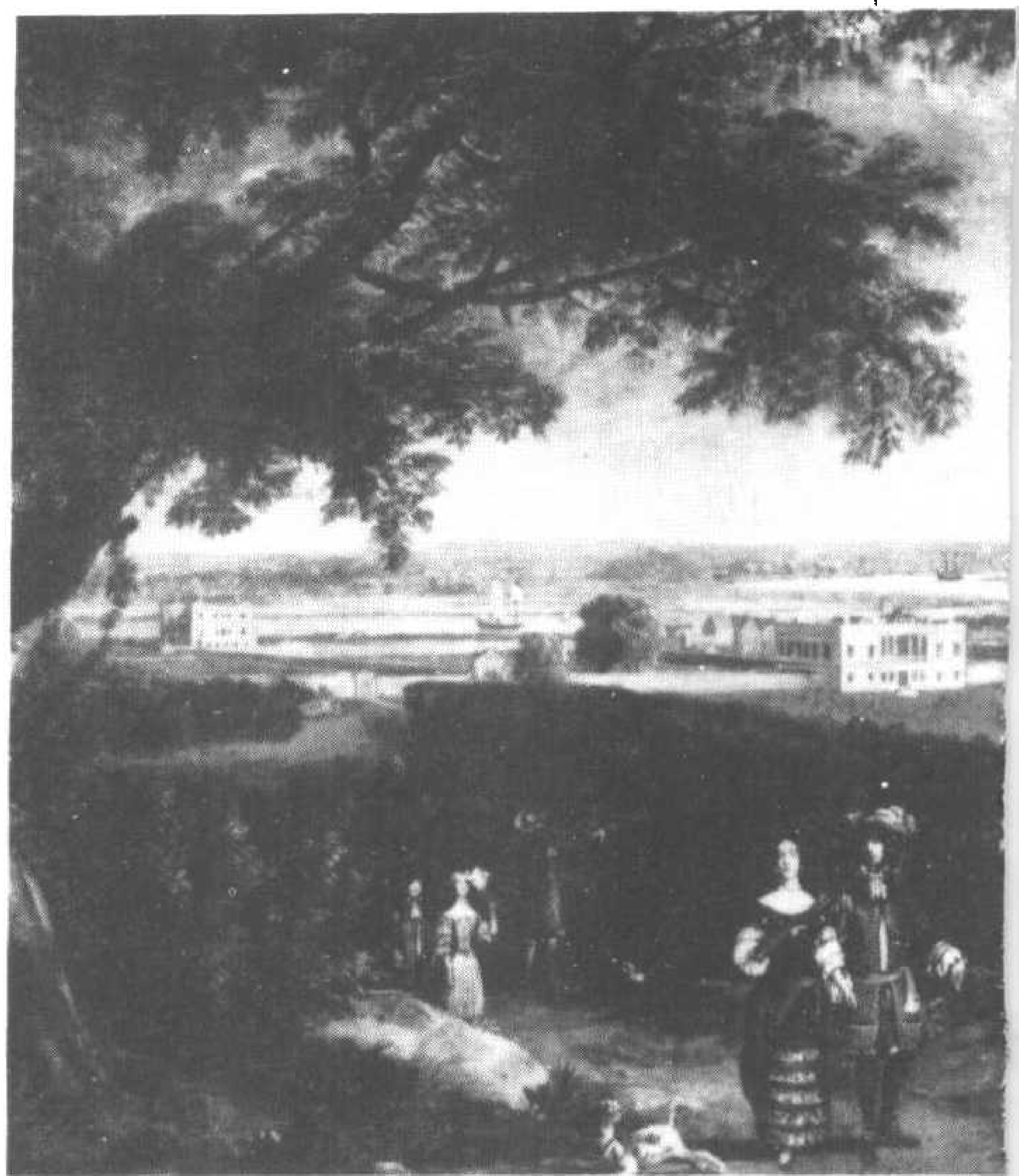
伏尔泰

《英格兰书简》



拜访赫歇耳

有位法国博物学家叫福雅(Barthelemy Faujas de Saint-Fond),也是地质学家,并且研究热气球。他在1784年时拜访了赫歇耳。这位英国科学家赫歇耳,三年前发现了天王星。在日记里,福雅写下他对赫歇耳的印象,也记下了他见到的伦敦。

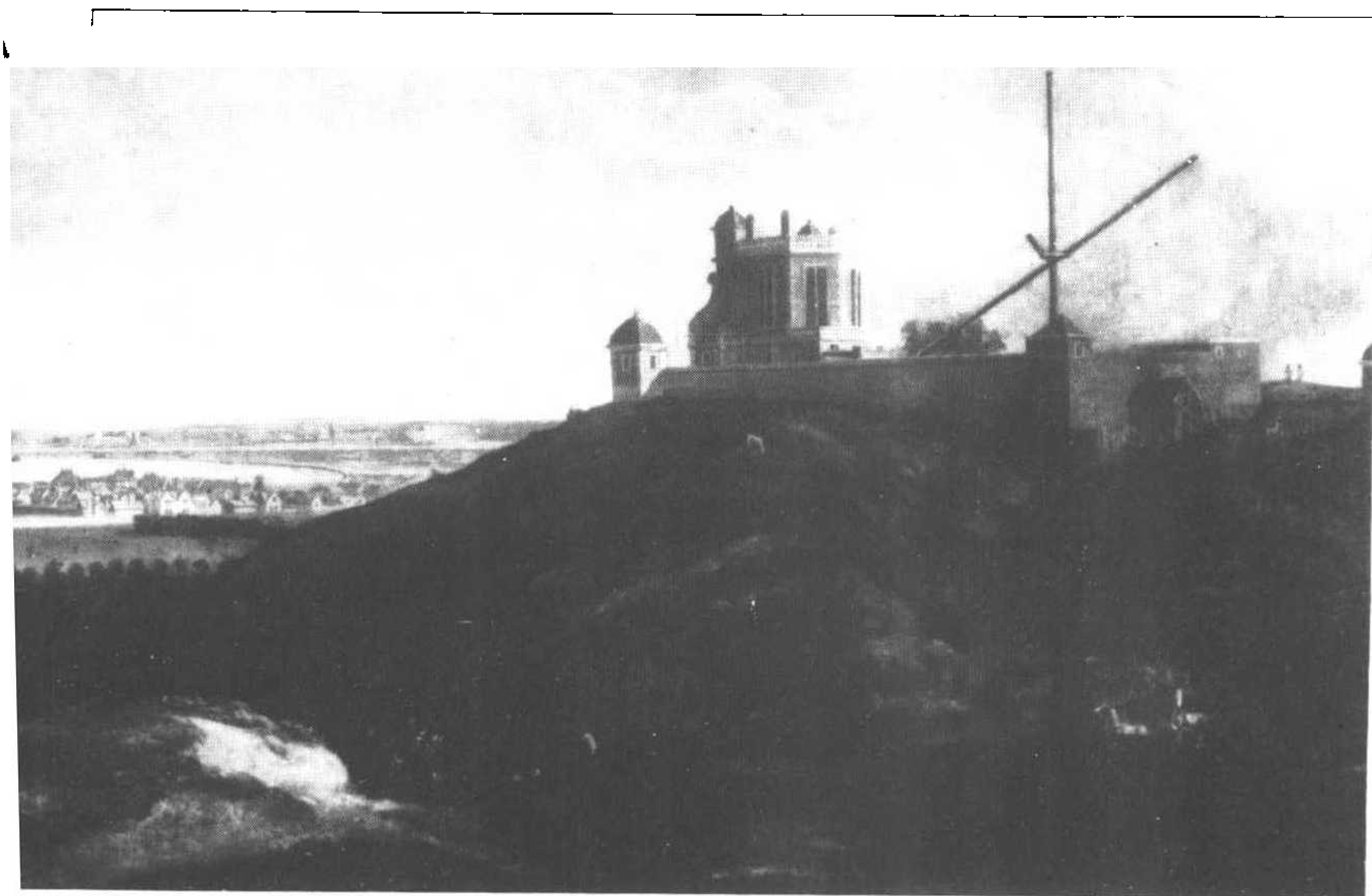


参观格林威治天文台

(1784)8月13日,星期五。一上午,我都忙着在写东西,也忙着整理别人送我的博物系的物品。中午一点,我和安德烈亚尼(Andréani)伯爵,以及多尔东(Thornton)先生三人,乘车去皇家天文台。天文台距我们住处有十二千米,在霍华街(Howard St.)上。一趟来回要花九英镑。

在天文台,我们遇到好多位皇家学会的会员,他们奉国王之命前来。在伦敦,天文学比航海学更受欢迎。

这座天文台的位置很好,在一座高高的山丘上,俯视泰晤士河和伦敦城。河面上到处是船,船桅和钟楼尖顶交织成一片。泰晤士河上三座大桥



横跨,圣·保罗教堂远远在望,各式各样的钟楼和建筑各有美感。这一切构成一幅奇特又迷人的景致。

天文台的楼房简朴无华,没什么建筑上的装饰或特征,是用砖造的。但天文台的仪器设备,无论是大小,精确程度,种类,处处令人满意。这些仪器设备都很有气派。

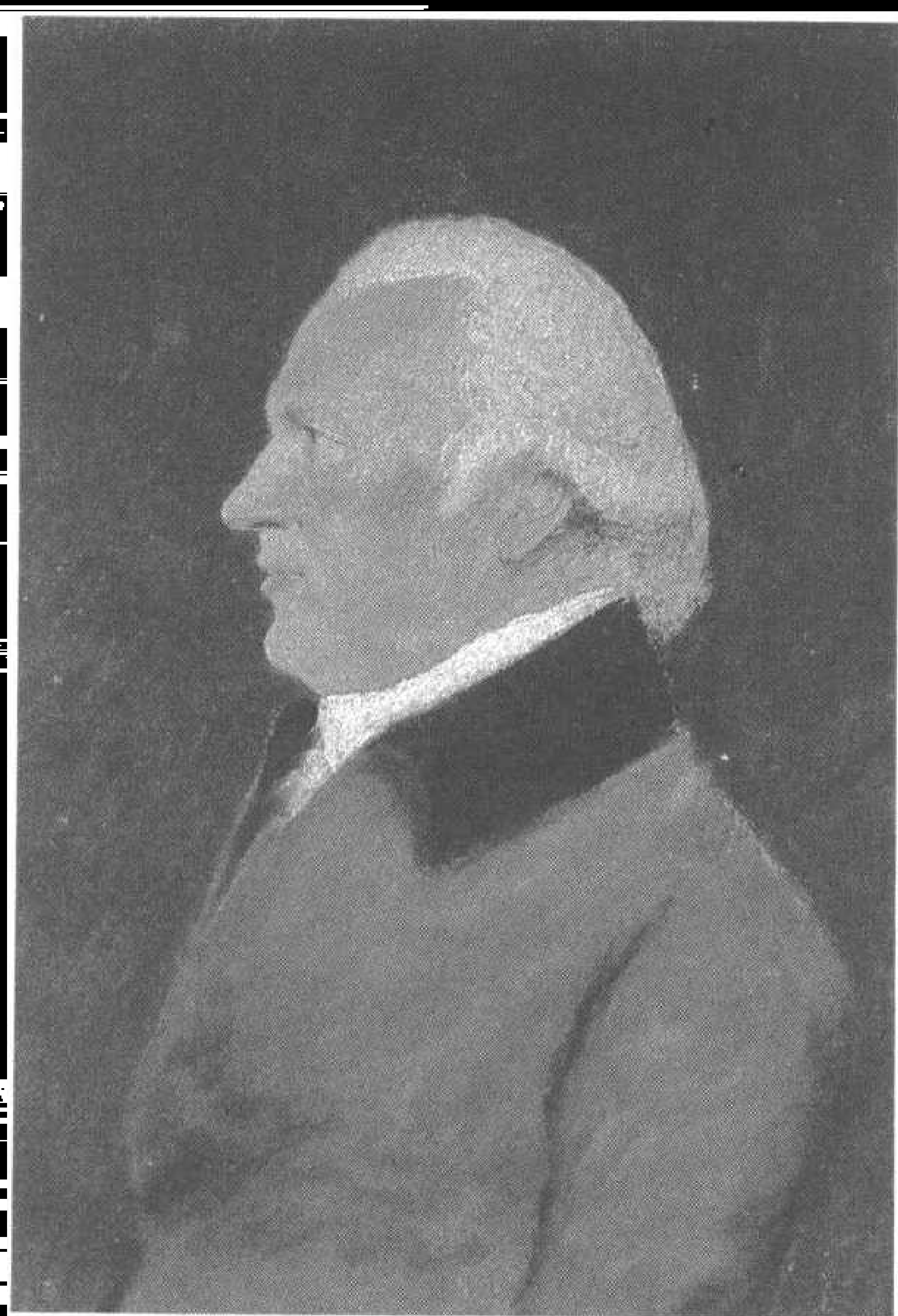
马斯科林(Maskline)先生很殷勤,带我们各处看,仔细为我们讲解台里的一切。

奥贝尔(Aubert)先生和桑克斯(Sancks)先生,把我们引荐给赫歇耳先生。赫歇耳的反射望远镜和天文学的发现为他带来名声。他这趟是和皇家学会一起来的。赫歇耳人很和蔼可亲,常识又渊博,见到他我非常高兴。赫歇耳答应我,星期天时可以去他的天文台转一转,并且愿和我一同观察星星。

下午四点,我们去到天文台附近一家很有名的餐馆,吃了顿英国式的晚餐。饭桌上,我坐在卡文迪许(Cavendish)和布拉格登(Blagden)先生旁边。饭菜很可口,大家一直吃到七点。饭后,大家进到一个大厅里,热茶和咖啡已经准备好了。咖啡比较不受欢迎。马斯科林做了饭前的祈祷,离开饭桌时又重念了一遍。这两次祈祷没用上一分钟。有人告诉我,这是众人一同吃饭时的一种习惯。

8月14日,星期六。去看热气球。指导组装这个气球的,是解剖

[redacted]



[redacted]

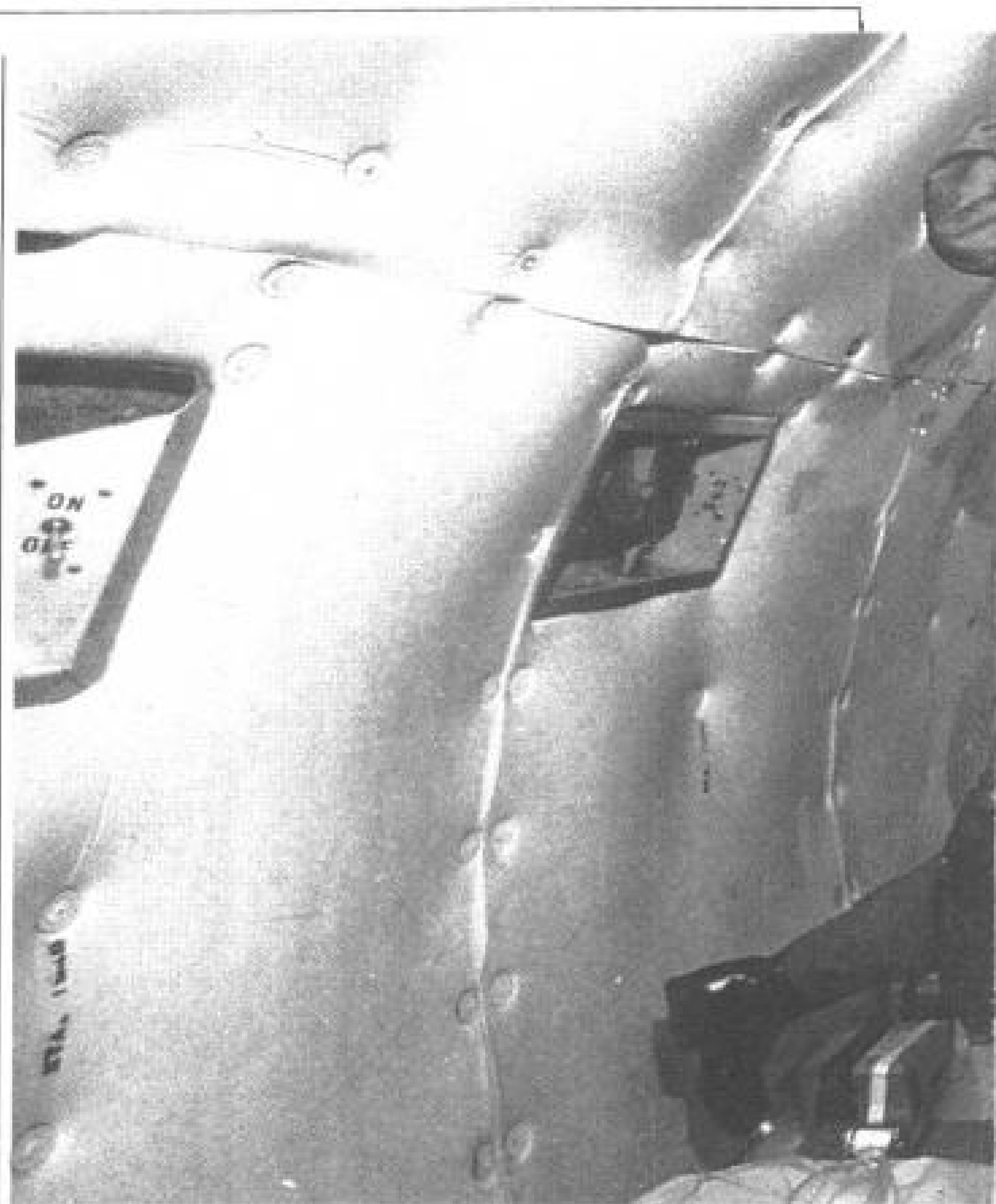
[redacted]

座露天的观测台真是奇特。赫歇耳先生要寻找星云,或一颗星时,他就从花园里喊他妹妹,她马上走到窗口,查阅他们那些手抄的图表,再从窗口对着他喊,“靠近盖玛(gamma)星”,“接近猎户座”,或者在那个星座上。这个默契,这种简单的方法,是这样可爱,又这么恰当。



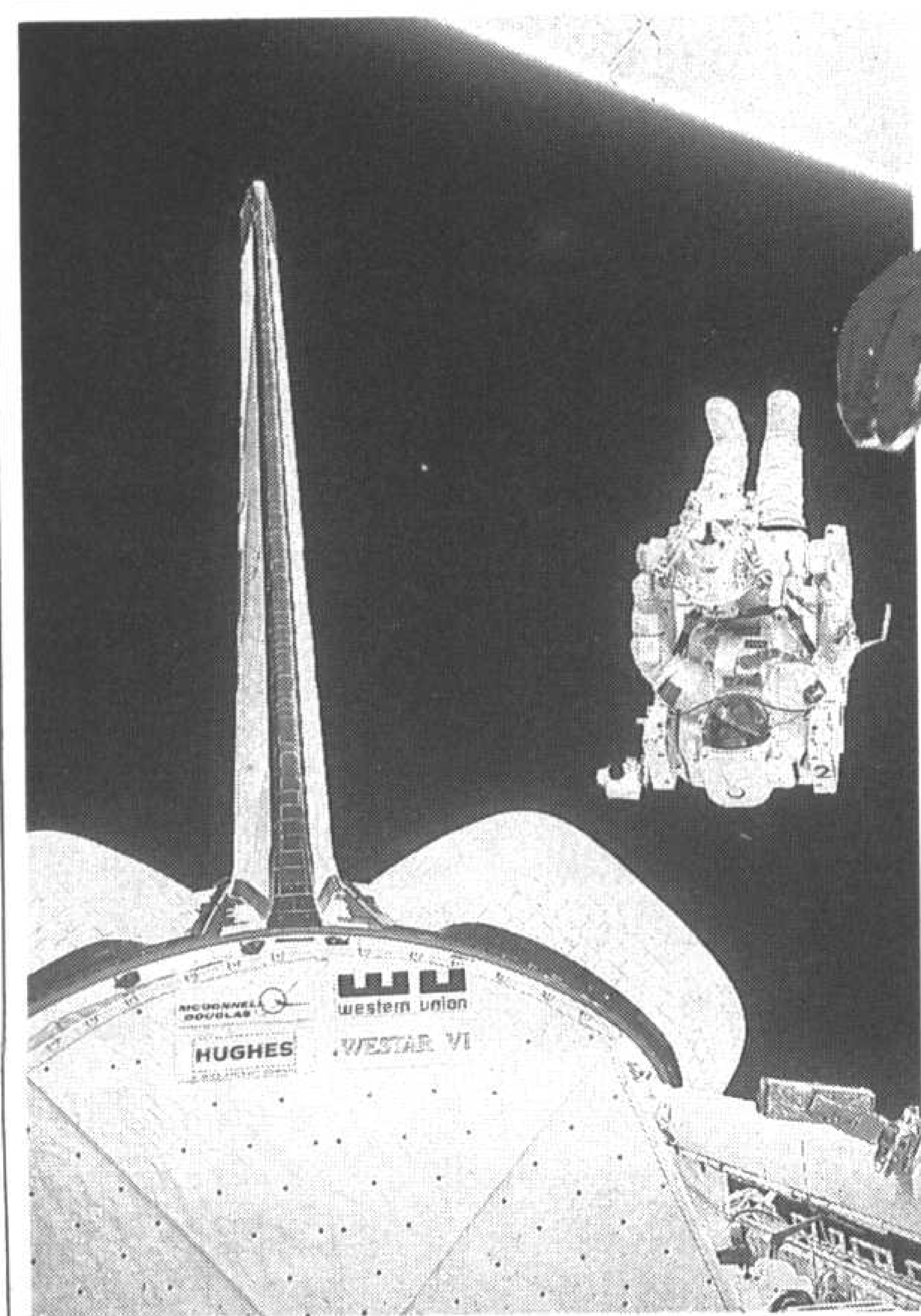
失重:持续的坠落

太空人“飘浮”在太空船的舱里，或太空的真空里时，是处于失重状态的。“失重”两字的意思，并不是说太空人没有重量了，他们的体重仍然和在地球上时一样。地球吸引太空人的力，和吸引地球上任何一个行人的力，是一模一样的。太空人在太空时，由于没有支撑，所以会变成“自由落体”的状态。不过，他们不会像地球上的苹果，往引力源坠落；而会像月亮的运动方式。他们的水平速度，恰好抵消了地球的引力，于是会与地心保持固定的距离，以一个圆形轨道朝下坠落，持续的坠落。






EASE


western union
HUGHES
WESTAR VI



图片目录与出处

封面

牛顿像。版画。

扉页

1—7 《观察天象》。Donato 绘。梵蒂冈博物馆。

第一章

10 牛顿在伍尔斯索普的故居。水彩画。19 世纪。伦敦，皇家学会。
11 用棱镜做光的实验。版画。摘自《自然哲学之数学原理》，1747 年。
12 1665 年瘟疫蔓延时的伦敦。版画。剑桥大学。
13 上 《世界和谐》一书的书名页。巴黎，国立艺术暨工艺图书馆。
13 下 《关于两大世界体例的对话》一书的封面。同上。
14 瀑布造成的光学效果。水彩画。Johann Jakob 绘，约 1704 年。伦敦，皇家学会。
15 上 三棱镜。版画。
15 下 在秘鲁看到的虹。摘自《南美游记之历史概述》（*Relacion historica del Viage a la America Meridional*），1748 年出版。巴黎，法兰西科学院图书馆。
16 牛顿肖像。油画。19 世纪。Goldsmith 绘。巴黎，科学院（Académie des sciences）。
17 上 组成“白光”的光谱。版画。摘自《自然哲学之数学原理》。
17下 用棱镜证明光之性质的实验。同上。
18 宇宙的描绘。版画。1689 年。巴黎，装饰艺术博物馆。
19 牛顿与苹果。彩色石印画。约1900年。
20 太阳系。18 世纪。巴黎，国立图书馆。
21 伽利略向威尼斯官员介绍望远镜。壁画。1841 年。佛罗伦萨。
22－3 第谷·布拉赫的天体图。版画。摘自《大宇宙之和谐》（*Harmonia macrocosmi*），1718 年。
24－25 哥白尼的星系图。同上。
26 笛卡尔涡动说的简单示意图。版画。17 世纪。瑞士，日内瓦图书馆。
27 上 笛卡尔思考世界体系。Moret 绘，1791 年。巴黎，国立图书馆。
27 下 同上。细部。

第二章

28 《17 世纪时的巴黎天文台》。Côte－d'or。
29 《科学院创建》，细部。H. Testelin 绘，1667 年。凡尔赛宫。
30－31 《科学院创建》。同上。
32 上 惠更斯的单摆钟。
32 下 奥祖测微器的设计图。摘自《科学院回忆录》（*Mémoires de l' Académie des sciences*）。巴黎，国立艺术暨工艺学校图书馆。
33 惠更斯肖像。Olanda, Hofwyk 博物馆。
34 上下 巴黎天文台。版画。18 世纪。
35 上 巴黎天文台与马赫利塔，在卡契尼的时代。版画。巴黎天文台图书馆。
35 下 观察日蚀。版画。摘自《宇宙概述》（*Description de l' univers*），1683 年。巴黎，装饰艺术图书馆。
36－37下 巴黎子午线。版画。巴黎，科学院。
37 上 法国地图——奉国王之命修正，并根据科学院院士之观测而得。版画。巴黎天文台图书馆。
38 老卡契尼肖像。巴黎天文台图书馆。
39 第谷在丹麦的天文观测台。版画。摘自 Willam Blaeu 的《新地图集》（*Novus Atlas*），17 世纪。荷兰鹿特丹，海事博物馆。

第三章

第四章

第五章

见证与文献

114 虹的形成:经由散射和反射。版画。摘自 W. J. Gravesande 的《由实验中确立的自然哲学之数学原理》(*Mathematical Elements of Natural Philosophy Confirmed by Experiments*),1747 年。伦敦。
115 《光学》的插图。巴黎天文台。
116,117 同上。
118 摘自《测量赤道区子午线长:第二部,以天文学方法测量子午线弧长》封面图。
119 拉普兰区的营帐。版画。巴黎天文台。
121 天文学家用望远镜看天空。版画。摘自《美洲历》(*Almanach-America*)。美国华盛顿,国会图书馆。
122 牛顿之墓,在伦敦西敏寺。版画。Fittler 根据一幅 1794 年 Riley 的画而做的。
124－125 牛顿纪念馆的设计草图。下图由 Etienne-Louis Boullée 绘。图由 Pierre Jules Delespine 绘。版画。18 世纪。
129 伏尔泰。1790 年。巴黎,国立图书馆。
130－131 《巴黎天文台》。油画。18 世纪。伦敦,国立海事博物馆。
132 赫歇耳画像。J. Sharples 绘。18 世纪。Bristol 市立博物馆。
133 《天文学家》。18 世纪。
134－137 NASA 太空船飞行时拍得的照片。1982—85 年。

索　引

A

B

C

D

F

G

H

M

N

P

S

T

W

X

Y



